

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування

Кафедра геології та гідрології

01-05-89

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни

«РУСЛОЗНАВСТВО»

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
усіх освітньо-професійних програм спеціальностей НУВГП
денної форми навчання

Схвалено науково-методичною
радою НУВГП

Протокол № 2 від 26.03.2020 р.

Рівне – 2020

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Руслознавство» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня усіх освітньо-професійних програм спеціальностей НУВГП денної форми навчання [Електронне видання] / Холоденко В. С. – Рівне : НУВГП, 2020. – 56 с.

Укладач: Холоденко В. С., к.геогр.н., доцент кафедри геології та гідрології.

Рецензент: Будз О. П., к. т. н, доцент кафедри геології та гідрології

Відповідальний за випуск: Мельничук В. Г., доктор геологічних наук, професор, завідувач кафедри геології та гідрології

Вчений секретар науково-методичної ради

Костюкова Т. А.

© В. С. Холоденко, 2020
© НУВГП, 2020

Вступ.....	4
1. Визначення гідрографічних характеристик річкових водозборів та кадастрової потужності потоку.	6
2. Розрахунок критичних швидкостей потоку.....	10
3. Розрахунок витрат донних наносів.....	16
4. Розрахунок транспортуючої здатності потоку.....	19
5. Розрахунок деформації дна	22
6. Визначення вимірників типів руслових процесів	26
7. Визначення руслоформуючих витрат води.....	28
8. Визначення екологічно допустимих витрат води.....	30
9. Визначення стійкості річкових русел.....	32
Додатки	37
Питання гарантованого рівня знань.....	53
Рекомендована та базова література.....	54
Допоміжна література.....	54

Вступ

Методичні вказівки призначені для виконання практичних робіт під час вивчення дисципліни **«Руслознавство»**.

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Руслознавство» складені відповідно для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня підготовки для всіх спеціальностей НУВГП, робочої програми охоплюють всі змістові модулі за мінімальною кількістю академічних годин /кредитів/, передбачених для вибіркової дисципліни та навчальним планом.

Руслознавство є вибірковою дисципліною для підготовки фахівців за ОКР бакалавр за всіма освітніми програмами НУВГП що викладається, відповідно, на 2, або 3, або 4 курсі в обсязі 90 годин (16 годин – лекції, 14 годин – практичні роботи, 60 годин – самостійна робота). Закінчується — заліком. Метою вибіркового курсу «Руслознавство» є вивчення різних типів руслових процесів, оцінки інтенсивності розвитку руслових деформацій; гідрографічних характеристик річкових водозборів та кадастрової потужності потоку; критичної швидкості потоку; витрати донних наносів; транспортуючої здатність річкового потоку та стійкості русел; деформації дна та оцінювання процесів наміву або розмиву річки тощо.

Тому, майбутні фахівці з водогосподарського, екологічного, географічного та інших галузей повинні розуміти та знати, що за останні десятиліття антропогенний вплив на річки України значно зріс, що викликає формування нових чинників руслових процесів та ерозійно-аккумулятивних, а саме: нераціональне і надмірне розорювання території водозборів, зменшення їх лісистості призводить до активізації процесів замулення русел рівнинних річок; спрямлення та поглиблення русел річок, проведення меліоративних робіт на заплавах викликає глибинну руслову ерозію, що призводить до зміни гідрологічного режиму заплави; зміни в стійкості русел, деградації та відмирання малих водотоків тощо.

Основними завданнями, що мають бути вирішені в процесі вивчення дисципліни, є теоретична та практична підготовка студентів з питань руслознавства, а саме: студент повинен *знати*:

- основні закономірності формування стоку наносів;

- основні елементи річкових систем;
- структуру річкового басейну;
- енергію та роботу річкового потоку;
- механізм переміщення донних наносів;
- основи динаміки руслових процесів;
- деформації річкового русла;
- гідроморфологічну теорію руслового потоку;
- природні та антропогенні деформації;
- характеристика заплав річок;
- методи розрахунку параметрів руслових потоків та руслових деформацій;
- основні типи руслових процесів та гідроекологічні аспекти руслових деформацій.

вміти:

- визначати типи руслового процесу та його вимірники за різними класифікаціями;
- прогнозувати та оцінювати інтенсивність розвитку руслових деформацій;
- визначати гідрографічні характеристики річкових водозборів та кадастрової потужності потоку;
- розраховувати критичні швидкості потоку;
- розраховувати витрату донних наносів;
- розраховувати транспортуючу здатність річкового потоку та стійкість русел;;
- проводити розрахунок деформації дна та оцінювати процеси намиву або розмиву річки.

Методичні вказівки покликані допомогти студентам у виконанні практичних робіт з дисципліни «Руслознавство», вони містять теоретичний матеріал змістових модулів, методику виконання практичних робіт, приклади розв'язання тематичних завдань, питання гарантованого рівня знань, рекомендовану, базову та допоміжну літературу.

Уважне вивчення наведеної інформації і схем, опрацювання питань гарантованого рівня знань допоможуть студентам успішно справлятися з завданнями поточного і підсумкового контролю.

Методичні вказівки розраховані на студентів, які навчаються за освітньо-кваліфікаційними програмами підготовки бакалаврів.

Методичні вказівки побудовані відповідно до вимог ЄКТС.

1. Визначення гідрографічних характеристик річкових водозборів та кадастрової потужності потоку

Метою практичної роботи є: набуття практичних навичок у визначенні гідрографічних характеристик річкових водозборів та кадастрової потужності потоку.

Завдання. За планшетом топографічної карти річки з відповідним масштабом, виданою викладачем (Додаток А) (наприклад 1:100000, тоді в 1 см – 1 км), необхідно:

1. Зробити викопіровку водозбору річки та визначити площу водозбору до заданого створу (на міліметровці А 4).
2. Визначити площі водозборів 3-4 найбільших приток та площі міжприточних ділянок.
3. Визначити довжину основної річки та сумарну довжину всіх річок, а також довжини окремо виділених приток та довжини міжприточних ділянок, основні гідрографічні характеристики.
4. Побудувати гідрографічну схему річки (див. рис. 1.1).
5. Розрахувати ширини ділянок для басейну річки (див. таблицю 1.1) та побудувати ідограму (див. рис. 1.3).
6. Обчислити кадастрову потужність річки при заданій величині модуля стоку.

Методика виконання та приклад. 1. Викопіровку водозбору річки проводимо на міліметровому папері формату А4 або кальці (прозорий папір для зняття креслень та рисунків). Далі визначаємо *площу водозбору* до заданого створу, накладаючи на басейн річки палетку і відповідно до масштабу топографічної карти розраховуємо площу водозбору річки.

2. Наступним кроком необхідно на карті вибрати 3-4 найбільші притоки головної річки та їх міжприточні ділянки і визначити їх площу.

3. Визначаємо довжину основної річки та сумарну довжину всіх річок, а також довжини окремо виділених приток та довжини міжприточних ділянок. *Довжина річки* (l_p) – це віддаль між витокom і гирлом річки, що проходить по лінії її найбільших глибин. При вимірюванні довжини річки потрібно мати на увазі, що річки наносяться на карту з деяким скороченням їх звивин у плані

(наприклад, якщо масштаб 1:200000, то в 1 см – 2 км). Відповідно довжина річки, виміряна по карті, буде завжди менше дійсної її довжини. Вимірювання довжини річки проводиться по лінії найбільших глибин, а якщо такі дані відсутні, то по середній лінії русла. Важливо також, вірно визначити витік та гирло річки. Кількість вимірних кроків, помноживши на масштаб, отримаємо довжину річки.

Важливою гідрографічною характеристикою річки є загальний коефіцієнт густоти річкової мережі, який розраховуємо як:

$$D = \frac{\sum L}{F}, \text{ км/км}^2, \quad (1.1)$$

де $\sum l_p$ – довжина всіх поверхневих водотоків басейну, км; F – площа водозбору, км².

Визначаємо довжину вододільної лінії та розраховуємо коефіцієнт розвитку вододільної лінії. Довжина вододільної лінії (S , км), вимірюється аналогічно довжині ріки. А коефіцієнт розвитку вододільної лінії є кількісною характеристикою форми річкового басейну (m) – це відношення довжини вододільної лінії до довжини кола, що обмежує рівновелику водозборів площу круга. Обчислюють за формулою:

$$m = \frac{0,282 \cdot S}{\sqrt{F}}, \quad (1.2)$$

де S – довжина вододільної лінії, км.

Середня ширина басейну ($B_{сер}$) в км:

$$B_{сер} = \frac{F}{L}, \text{ км} \quad (1.3)$$

Коефіцієнт асиметрії водозбору (a) характеризує нерівномірність розподілу площ правої і лівої частин басейну щодо головної річки:

$$a = \frac{F_l - F_{np}}{0,5(F_l + F_{np})}, \quad (1.4)$$

де F_l і F_{np} – площа лівобережної і правобережної частин басейну, км².

Коефіцієнт витягнутості водозбору (δ):

$$\delta = \frac{L^2}{B_{\text{сеп}}}. \quad (1.5)$$

Коефіцієнт форми водозбору (δ):

$$\delta = \frac{F}{L^2}, \quad (1.6)$$

Середня висота водозбору ($H_{\text{сеп}}$) встановлюється по топографічній карті планіметруючи площу між горизонталями:

$$H_{\text{сеп}} = \frac{f_1 h_1 + f_2 h_2 + \dots + f_n h_n}{F} = \frac{f_i h_i}{F}, \quad (1.7)$$

де f_i – площа між горизонталями, м²; h_i – середня висота площадки між горизонталями, м; F – площа водозбору, м².

Коефіцієнт озерності:

$$\delta_{o3} = \frac{f_{o3}}{F} \cdot 100 \%, \quad (1.8)$$

де f_{o3} – площа дзеркала озер та інших водойм, км².

Коефіцієнт заболоченості:

$$\delta_{\delta} = \frac{f_{\delta}}{F} \cdot 100 \%, \quad (1.9)$$

де f_{δ} – площа боліт на водозборі, км².

Коефіцієнт лісистості:

$$\delta_{\text{л}} = \frac{f_{\text{л}}}{F} \cdot 100 \%, \quad (1.10)$$

де $f_{\text{л}}$ – площа лісу на водозборі, км².

4. Побудова гідрографічної схеми річки включає такі етапи: на горизонтальній лінії в обраному масштабі відкладають загальну довжину основної річки (наприклад, згідно рис. 1.1. це 182,5 км). Її притоки креслять у тому ж масштабі у вигляді прямих ліній, що відходять від головної річки під однаковим кутом (30° – 40°) у місцях їх впадіння. Нахил ліній – у бік витоку. На схемі виписують довжину головної річки та приток і їх назви, чи порядковий номер (рис. 1.1).

5. Побудова ідограми або графіка одиничних ширин водозбору річки полягає в наступному. Ширина водозбірної площі змінюється

за довжиною річки. Ця зміна впливає на кількість води, що притікає до русла річки на різних ділянках. Зміна ширини водозбору може бути представлена у формі графіка, який називається *ідограма*.

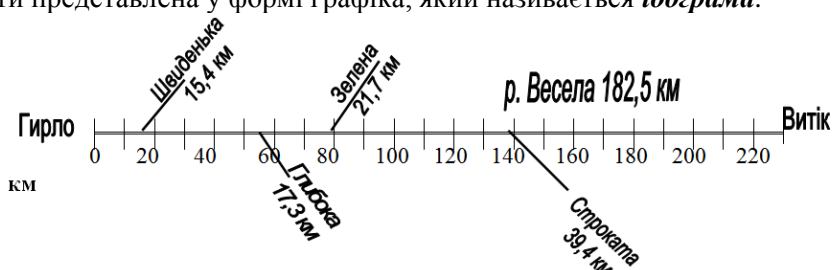


Рис. 1.1. Гідрографічна схема р. Веселої

При побудові цього графіка суміщають по осі абсцис довжини всіх крупних приток першого порядку з довжиною основної річки і відкладають послідовно на осі ординат середні ширини часткових водозборів.

Наприклад, згідно рис. 1.2 – вихідні дані для побудови ідограми отримують таким способом: на карті виділяють басейни крупних приток і ділянок, де стік безпосередньо поступає в основну річку. На рис. 1.2 пунктиром виділено міжприточні ділянки.

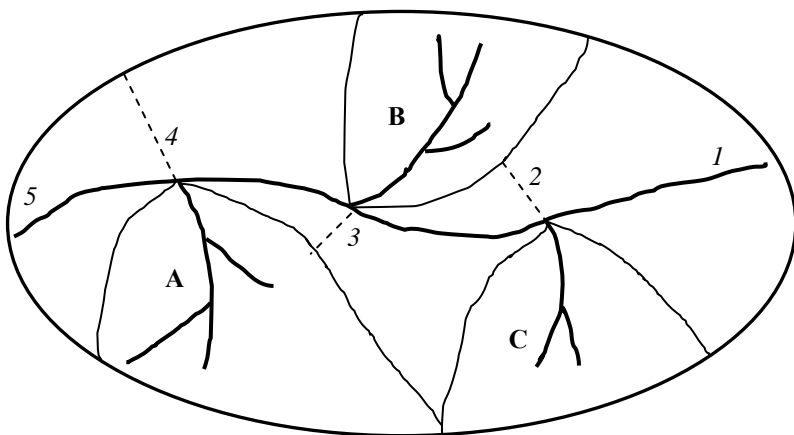


Рис. 1.2. Схема басейну річки з крупними притоками і міжприточними ділянками

Для кожного з виділених басейнів та ділянок за даними про їх довжини l_i та площі f_i визначають середні ширини:

$$b_i = \frac{f_i}{l_i}. \quad (1.11)$$

Обчислення проводять в табличній формі (таблиці 1.1).

Таблиця 1.1

Розрахунок ширини ділянок для басейну річки

Часткові басейни	Віддаль від гирла (створу), км	Довжина ділянок, l , км	Площі басейнів, f , км ²	Ширина ділянок, b , км
1-2	90-56	34	57	1,73
С	56	30	61	2,03
2-3	56-32	24	25	1,05
В	32	50	84	1,68
3-4	32-15	17	25	1,47
А	15	45	52	1,15
4-5	15-0	15	17	1,13

По осі абсцис відкладають в масштабі гідрографічну довжину річки. Вддовж цієї лінії спочатку відкладають ширини безприточних ділянок основного водотоку (1-2, 2-3, 3-4, 4-5), а потім ширини водозборів (А, В, С) починаючи від гирла, або заданого розрахункового створу. В даному прикладі часткова ширина першого розрахункового створу притока А відкладена вправо на протязі 45 км. Ця часткова ширина у відповідності з довжиною притоків «А» розташувалася над шириною ділянок 3-4, 2-3, 1-2. Часткова ширина наступного притоку В відкладена від точки, що знаходиться на віддалі 32 км по осі абсцис. Ця ширина відкладена над сумарною шириною ділянки 2-3 і водозабору А, та над шириною ділянки 1-2.

В результаті отримуємо графік, який характеризує зміну ширини басейну по довжині річки. Його називають *графіком одиничних ширин* (рис. 1.3). Цей графік можна розглядати як функцію, що характеризує послідовність проходження через розрахунковий створ порцій води, що утворились за одиницю часу на поверхні басейну від дощу чи сніготанення. При цьому об'єм води, що

одночасно поступає у фіксований момент часу буде пропорційний ширині водозбору.

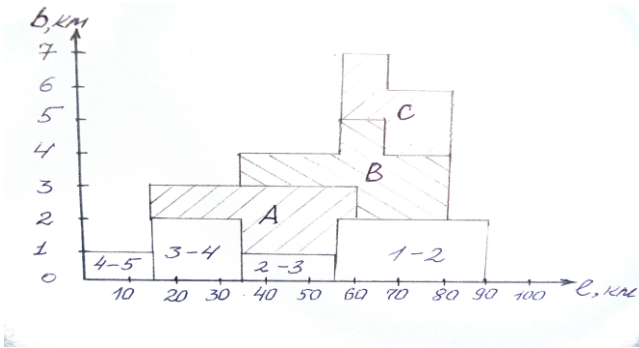


Рис. 1.3. Графік одиничних ширин (ідограма) басейну річки

6. Обчислюємо кадастрову потужність річки при заданій величині модуля стоку (наприклад, $M=30$ л/(с·км²)). Потужність виразимо в тс·м/с, кгс·м/с, в кінських силах та в кВт.

Кадастрову потужність річки розраховуємо за формулою:

$$N = 9,81 \cdot Q \cdot H, \text{ кВт}, \quad (1.12)$$

де Q – витрата води у річці у середній за водністю рік, м³/с; H – падіння річки в м, яке визначається за формулою:

$$H = H_6 - H_c, \quad (1.13)$$

де H_6 – відмітка витоку річки, м; H_c – відмітка гирла річки, м.

Якщо у формулі (1.4) виразити Q через модуль стоку M , отримаємо:

$$N = 9,81 \cdot \frac{M \cdot F}{10^3} \cdot H. \quad (1.14)$$

Наприклад, $F=250$ км², $M=30$ л/(с·км²), $H=215$ м, тоді $N=9,81 \cdot (30 \cdot 250) / 1000 \cdot 215 = 15818,6$ кВт.

1 кгс·м/с=9,81 Вт=9,81·10⁻³ кВт.

1 кВт=102 кгс·м/с, тоді $102 \cdot 15818,6 = 1613497,2$ кгс·м/с.

1 к.с.=74,54 кВт, тоді $15818,6 / 74,54 = 212,2$ к.с.

1 тс·м/с=1000 кгс·м/с, тоді $1613497,2 \cdot 1000 = 1613,5$ тс·м/с.

2. Розрахунок критичних швидкостей потоку

Метою практичної роботи є: набуття практичних навичок у розрахунку критичних швидкостей потоку.

Завдання. Розрахувати (за варіантом додатку Б) величини критичних швидкостей потоків, що протікають по незв'язних та зв'язних ґрунтах за різними методиками та дати критичний аналіз отриманих результатів (для незв'язних ґрунтів за формулами В.М. Гончарова, І.І. Леві, Г.І. Шамова, а для зв'язних – Ц.Є. Мірцхулаві). Розрахунок за формулами В.М. Гончарова виконати для глибини h , $2h$, $3h$, $4h$. Побудувати залежність $V_{кр}=f(h)$ та оцінити вплив глибини на величини критичних швидкостей.

Методика виконання. При проектуванні і будівництві різних гідротехнічних споруд важливим фактором є стік наносів, який в значній мірі визначає розмір і характер руслових деформацій. Рух наносів починається тільки при швидкості течії, яка перевищує критичну. Тому у розрахунках використовуються не абсолютні значення середньої швидкості потоку, а її відношення до критичної швидкості або різниця їх значень. Переважно використовують два значення критичних швидкостей, які як правило відрізняються одна від одної на величину $\approx \sqrt{2}$. Нижню межу критичних швидкостей називають *нерозмиваючою*, а верхню *розмивною критичною швидкістю*.

Приклад: Ширина потоку $B=2000$ см; глибина потоку $h=96$ см; середня крупність донних відкладів для незв'язних ґрунтів $d=2,5$ мм; відношення найбільшої крупності донних відкладів, якої в суміші 5% до середньої $\frac{d_{5\%}}{d}=2$; $d_{10\%}=0,9 \cdot d_{5\%}$; середня крупність донних відкладів для зв'язних ґрунтів $d=0,007$ мм.

Порядок розрахунку

Проводимо переведення необхідних величин. Ширина потоку $B=2$ м; глибина потоку $h=0,96$ м; середня крупність донних відкладів для незв'язних ґрунтів $d=2,5$ мм/1000=0,0025 м; відношення найбільшої крупності донних відкладів, якої в суміші 5% до середньої $\frac{d_{5\%}}{d}=2$, тоді $d_{5\%}=2 \cdot d=5/1000=0,005$ м;

$d_{10\%} = 0,9 \cdot d_{5\%} = 0,9 \cdot 0,005 = 0,0045$ м; середня крупність донних відкладів для зв'язних ґрунтів $d = 0,007$ мм/1000 = 0,000007 м.

1. Формула для розрахунку критичних швидкостей потоків для незв'язних ґрунтів за **В.М. Гончаровим**: а) для нерозмивної швидкості:

$$V_n = \lg \frac{8,8h}{d_{5\%}} \cdot \sqrt{\frac{2g \cdot (\rho_1 - \rho) \cdot d}{3,5 \cdot \rho}}, \quad (2.1)$$

б) для розмивної швидкості:

$$V_p = \lg \frac{8,8h}{d_{5\%}} \cdot \sqrt{\frac{2g \cdot (\rho_1 - \rho) \cdot d}{1,75 \cdot \rho}}. \quad (2.2)$$

Де ρ_1 і ρ густина відповідно частинки ґрунту та води $\rho_1 = 2,65$ г/см³ та $\rho = 1$ г/см³.

Підставивши значення у формули, отримаємо:

$$V_n = \lg \frac{8,8 \cdot 0,96}{0,005} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot (2,65 - 1) \cdot 0,0025}{3,5 \cdot 1}} = 3,23 \cdot 0,15 = 0,48 \text{ м/с.}$$

$$V_p = \lg \frac{8,8 \cdot 0,96}{0,005} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot (2,65 - 1) \cdot 0,0025}{1,75 \cdot 1}} = 3,23 \cdot 0,21 = 0,68 \text{ м/с.}$$

2. Формула для розрахунку критичних швидкостей потоків для незв'язних ґрунтів за **І.І. Леви**: а) для нерозмивної швидкості:

$$V_n = 1,4 \sqrt{g \cdot d} \cdot \lg \frac{12 \cdot R}{d_{10\%}}, \text{ при } \frac{R}{d_{10\%}} > 60, \quad (2.3)$$

$$V_n = 1,3 \sqrt{g \cdot d} \cdot \left(0,8 + \frac{2}{3} \cdot \lg \frac{10 \cdot R}{d_{10\%}}\right), \text{ при } \frac{R}{d_{10\%}} \leq 60. \quad (2.4)$$

б) для розмивної швидкості:

$$V_p = 1,4 \cdot V_n. \quad (2.5)$$

Де $R \approx h$ – гідралічний радіус, що дорівнює середній глибині.

Знайдемо співвідношення $\frac{R}{d_{10\%}} = \frac{0,96}{0,0045} = 213,33 > 60$, отже

підставивши значення у формули, отримаємо:

$$V_n = 1,4 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 0,0025} \cdot \lg \frac{12 \cdot 0,96}{0,0045} = 0,22 \cdot 3,41 = 0,75 \text{ м/с.}$$

$$V_p = 1,4 \cdot 0,75 = 1,05 \text{ м/с.}$$

3. Формула для розрахунку критичних швидкостей потоків для незв'язних ґрунтів за **Г.І. Шамовим**: а) для нерозмивної швидкості:

$$V_n = 3,7 \cdot d^{\frac{1}{3}} \cdot h^{\frac{1}{6}}. \quad (2.6)$$

б) для розмивної швидкості:

$$V_p = 6 \cdot d^{\frac{1}{3}} \cdot h^{\frac{1}{6}}. \quad (2.7)$$

Підставивши значення у формули, отримаємо:

$$V_n = 3,7 \cdot 0,0025^{\frac{1}{3}} \cdot 0,96^{\frac{1}{6}} = 3,7 \cdot 0,14 \cdot 0,99 = 0,51 \text{ м/с}$$

$$V_p = 6 \cdot 0,0025^{\frac{1}{3}} \cdot 0,96^{\frac{1}{6}} = 6 \cdot 0,14 \cdot 0,99 = 0,83 \text{ м/с}$$

4. Формула для розрахунку критичних швидкостей потоків для зв'язних ґрунтів за **Ц.Є. Мірхулави**: а) для нерозмивної швидкості:

$$V_n = 1,25 \sqrt{\frac{2 \cdot m}{2,6 \cdot \rho \cdot n'} [(\rho_1 - \rho) \cdot g \cdot d + 1,25 \cdot C_{м.р.} \cdot k']}, \quad (2.8)$$

б) для розмивної швидкості:

$$V_p = 1,25 \sqrt{\frac{2 \cdot m}{1,3 \cdot \rho \cdot n'} [(\rho_1 - \rho) \cdot g \cdot d + 1,25 \cdot C_{м.р.} \cdot k']}, \quad (2.9)$$

де n' - коефіцієнт навантаження потоку наносами, який залежить від діаметру часточок ґрунту (якщо d менше 0,1 мм – 1,0; 1 мм – 2,0; більше 10 мм – 3,5; більше 100 мм – 4); $C_{м.р.}=1$; $k'=0,5$; $m=1$.

Підставивши значення у формули, отримаємо:

$$V_n = 1,25 \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{2,6 \cdot 1 \cdot 3,5} [(2,65 - 1) \cdot 9,81 \cdot 0,000007 + 1,25 \cdot 1 \cdot 0,5]} = 1,25 \cdot \sqrt{0,22 \cdot (0,00011 + 0,625)} = 0,46 \text{ м/с.}$$

$$V_p = 1,25 \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{1,3 \cdot 1 \cdot 3,5} [(2,65 - 1) \cdot 9,81 \cdot 0,000007 + 1,25 \cdot 1 \cdot 0,5]} = 1,25 \cdot \sqrt{0,44 \cdot 0,62511} = 0,66 \text{ м/с.}$$

5. Виконуємо розрахунок за формулами В.М. Гончарова для глибини h , $2h$, $3h$, $4h$.

Для h : $V_n = 0,48 \text{ м/с}$ і $V_p = 0,68 \text{ м/с}$.

Для 2h:

$$V_n = \lg \frac{8,8 \cdot 2 \cdot 0,96}{0,005} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot (2,65 - 1) \cdot 0,0025}{3,5 \cdot 1}} = 3,53 \cdot 0,15 = 0,53 \text{ м/с.}$$

$$V_p = \lg \frac{8,8 \cdot 2 \cdot 0,96}{0,005} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot (2,65 - 1) \cdot 0,0025}{1,75 \cdot 1}} = 3,53 \cdot 0,21 = 0,74 \text{ м/с.}$$

Для 3h:

$$V_n = \lg \frac{8,8 \cdot 3 \cdot 0,96}{0,005} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot (2,65 - 1) \cdot 0,0025}{3,5 \cdot 1}} = 3,7 \cdot 0,15 = 0,56 \text{ м/с.}$$

$$V_p = \lg \frac{8,8 \cdot 3 \cdot 0,96}{0,005} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot (2,65 - 1) \cdot 0,0025}{1,75 \cdot 1}} = 3,7 \cdot 0,21 = 0,78 \text{ м/с.}$$

Для 4h:

$$V_n = \lg \frac{8,8 \cdot 4 \cdot 0,96}{0,005} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot (2,65 - 1) \cdot 0,0025}{3,5 \cdot 1}} = 3,83 \cdot 0,15 = 0,58 \text{ м/с.}$$

$$V_p = \lg \frac{8,8 \cdot 4 \cdot 0,96}{0,005} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot (2,65 - 1) \cdot 0,0025}{1,75 \cdot 1}} = 3,83 \cdot 0,21 = 0,80 \text{ м/с.}$$

6. За отриманими даними будемо залежність $V_{кр}=f(h)$ та оцінюємо вплив глибини на величини критичних швидкостей (рис. 2.1).

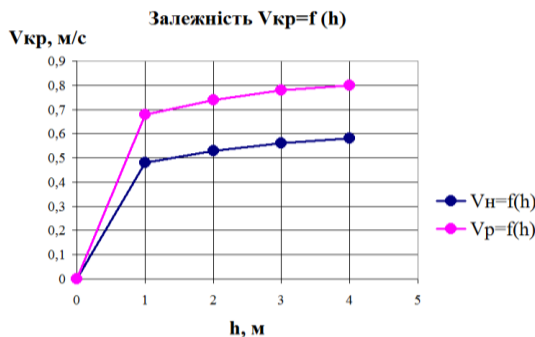


Рис. 2.1. Залежність критичної швидкості потоку від глибини

З графіка видно, що із збільшенням глибини зростає відповідно і величина критичної швидкості.

Обов'язково, при розрахунках критичних швидкостей потоку, необхідно враховувати і **екологічну складову**, зокрема, при значному антропогенному впливі на басейн рівнинних річок та на малих річках глибиною 0,7-1,0 м критична нерозмивна швидкість падає до 0,1- 0,2 м/с. Оптимальна швидкість течії для формування цінних для екосистеми видів гідробіоценозів становить 0,5-0,6 м/с. Для запобігання заростання водного дзеркала необхідно підтримувати швидкість течії водного потоку на рівні не менше 0,3 м/с.

3. Розрахунок витрат донних наносів

Метою практичної роботи є: набуття практичних навичок у розрахунку витрат донних наносів.

Завдання. Необхідно розрахувати витрати донних наносів за формулами І.І. Леві, В.М. Гончарова, Г.І. Шамова для незв'язних ґрунтів. Оцінити відхилення отриманих результатів від витрат за формулою Г.І. Шамова. Розрахувати витрати донних наносів рівнинної річки з піщаним дном. Розрахувати витрату донних наносів передгірської річки з піщано-гравійним дном (додаток Б).

Методика виконання. Річкові наноси за характером руху поділяються на *завислі* та *донні*. Такий розподіл є умовним і залежить від розміру частинок фракції та швидкості течії.

Лабораторні дослідження показують, що наноси, які знаходяться на дні, починають рухатися тільки після того, коли швидкість течії досягне певного критичного значення $V_{\phi} \geq V_{кр}$. За відсутності даних спостереження витрати донних наносів обчислюють за емпіричними формулами. Найбільшого поширення набули формули, в яких витрата донних наносів визначається в залежності від діаметра часток наносів і швидкості течії. Це формули І.І. Леві, В.М. Гончарова, Г.І. Шамова.

Приклад. Ширина потоку $B=2000$ см, глибина потоку $h=96$ см, похил водної поверхні $i=0,006\%$; параметр турбулентності $\phi=1,03$; середня крупність донних відкладів для незв'язних ґрунтів $d=2,5$ мм; відношення найбільшої крупності донних відкладів, якої в

суміші 5% до середньої $\frac{d_{5\%}}{d}=2$; середній діаметр донних наносів рівнинних річок з піщаним дном $d=1,85$ мм; середній діаметр піщано-гравійних донних наносів $d=9,0$ мм.

Порядок розрахунку

Проводимо переведення необхідних величин. Ширина потоку $B=2$ м; глибина потоку $h=0,96$ м; середня крупність донних відкладів для незв'язних ґрунтів $d=2,5$ мм/1000=0,0025 м; відношення найбільшої крупності донних відкладів, якої в суміші 5% до середньої $\frac{d_{5\%}}{d}=2$, тоді $d_{5\%} = 2 \cdot d = 5/1000 = 0,005$ м; середній діаметр донних наносів рівнинних річок з піщаним дном $d=0,00185$ м; середній діаметр піщано-гравійних донних наносів $d=0,009$ м.

1. Формула **І.І. Леві** для розрахунку витрат донних наносів на одиницю ширини потоку:

$$q_0 = 0,002 \cdot d \cdot \left(\frac{V}{\sqrt{g \cdot d}} \right)^3 \cdot (V - V_{кр}) \cdot \left(\frac{d}{h} \right)^{0,25}, \quad (3.1)$$

де q_0 – витрата донних наносів на одиницю ширини потоку, кг/с; V – середня швидкість потоку, м/с; $V_{кр}$ – критична незсувна швидкість потоку, м/с; h – глибина потоку, м; d – середня крупність донних відкладів для незв'язних ґрунтів, м; g – прискорення вільного падіння, м/с².

Розраховуємо критичну незсувну швидкість $V_{кр}$ за формулою:

$$V_{кр} = 3,1 \cdot d^{\frac{1}{3}} \cdot h^{\frac{1}{6}}, \quad (3.2)$$

де d – середній діаметр донних наносів рівнинних річок з піщаним дном, м.

Підставивши значення у формулу (3.2), отримаємо:

$$V_{кр} = 3,1 \cdot 0,00185^{\frac{1}{3}} \cdot 0,96^{\frac{1}{6}} = 0,37 \text{ м/с.}$$

Розраховуємо середню швидкість потоку V за формулою:

$$V = 4 \cdot \left(\lg \frac{8,8 \cdot h}{d_{5\%}} \right) \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h \cdot i}, \quad (3.3)$$

де $d_{5\%}$ – найбільша крупність донних відкладів, якої в суміші 5%, м;
 i – похил водної поверхні, %.

Підставивши значення у формулу (3.3), отримаємо:

$$V = 4 \cdot \left(\lg \frac{8,8 \cdot 0,96}{0,005} \right) \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,96 \cdot 0,006} = 12,91 \cdot 0,34 = 4,39 \text{ м/с}.$$

Тоді, підставивши значення у формулу (3.1), отримаємо:

$$q_0 = 0,002 \cdot 0,0025 \cdot \left(\frac{4,39}{\sqrt{9,81 \cdot 0,0025}} \right)^3 \cdot (4,39 - 0,37) \cdot \left(\frac{0,0025}{0,96} \right)^{0,25} = 0,099 = 9,9 \text{ кг/с}.$$

2. За формулою **В.М. Гончарова** для розрахунку витрат донних наносів для незв'язних ґрунтів:

$$q_0 = 1,2 \cdot (1 + \varphi) \cdot V_{кр} \cdot d \cdot \left(\frac{V}{V_{кр}} \right)^{4,33}, \quad (3.4)$$

де φ – параметр турбулентності $\varphi=1,03$.

Підставивши значення у формулу (3.4), отримаємо:

$$q_0 = 1,2 \cdot (1 + 1,03) \cdot 0,37 \cdot 0,0025 \cdot \left(\frac{4,39}{0,37} \right)^{4,33} = 100,99 \text{ кг/с}.$$

3. За формулою **Г.І. Шамова** для розрахунку витрат донних наносів для незв'язних ґрунтів:

$$q_0 = 0,95 \cdot \sqrt{d \cdot \left(\frac{V}{V_{кр}} \right)^3} \cdot (V - V_{кр}) \cdot \left(\frac{d}{h} \right)^{0,25}, \quad (3.5)$$

Підставивши значення у формулу (3.5), отримаємо:

$$q_0 = 0,95 \cdot \sqrt{0,0025 \cdot \left(\frac{4,39}{0,37} \right)^3} \cdot (4,39 - 0,37) \cdot \left(\frac{0,0025}{0,96} \right)^{0,25} = 1,76 \text{ кг/с}.$$

4. Оцінимо відхилення результатів від формули Г.І.Шамова. Отже, згідно формули (3.1) І.І. Леві витрати донних наносів перевищують витрати за формулою (3.5) Г.І. Шамова у 8 раз, а за формулою (3.4) В.М. Гончарова порівняно з формулою (3.5) Г.І. Шамова у 99 разів.

5. Обчислення витрат донних наносів рівнинних річок з піщаним дном ($0,1 \text{ мм} \leq d \leq 2,0 \text{ мм}$) обчислюють за формулою (3.5). Отже, підставивши значення у формулу (3.5), отримаємо:

$$q_0 = 0,95 \cdot \sqrt{0,00185 \cdot \left(\frac{4,39}{0,37}\right)^3 \cdot (4,39 - 0,37) \cdot \left(\frac{0,00185}{0,96}\right)^{0,25}} = 1,41 \text{ кг/с}.$$

6. На передгірських річках обчислення витрат донних наносів з піщано-гравійним дном ($0,1 \text{ мм} \leq d \leq 10,0 \text{ мм}$) обчислюють за формулою (3.4). Параметр турбулентності приймають $\varphi = 1,31$.

Отже, підставивши значення у формулу (3.4), отримуємо:

$$q_0 = 1,2 \cdot (1 + 1,31) \cdot 0,37 \cdot 0,009 \cdot \left(\frac{4,39}{0,37}\right)^{4,33} = 413,8 \text{ кг/с}.$$

4. Розрахунок транспортуючої здатності потоку

Метою практичної роботи є: набуття практичних навичок у розрахунку транспортуючої здатності потоку.

Завдання. Провести розрахунок транспортуючої здатності потоку за відомими залежностями Е.А. Замаріна, О.В. Караушева, К.В. Гришаніна та К.І. Россинського. Скласти підсумкову таблицю результатів розрахунку і проаналізувати її.

Методика виконання. Вихідні дані для розрахунку за варіантами у додатку В. *Транспортуюча здатність потоку* є важливою характеристикою при проектуванні гідротехнічних споруд на річках, а також при оцінці змін гідрологічного режиму в умовах антропогенних впливів. Це така гранична витрата наносів, зверху якої потік за даних гідравлічних характеристик не в змозі переміщувати твердий матеріал. На практиці за показник транспортуючої здатності приймається відповідна їй середня каламутність потоку.

Замарін Е. А. запропонував наступні формули:

а) для наносів з гідравлічною крупністю від $0,002 \leq \omega \leq 0,008 \text{ м/с}$:

$$q = 0,022 \cdot \left(\frac{v_c}{\omega}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{h \cdot I}, \text{ кг/м}^3; \quad (4.1)$$

б) для наносів при $0,0004 \leq \omega \leq 0,002 \text{ м/с}$:

$$q = 11 \cdot v_c \sqrt{\frac{h \cdot I \cdot v_c}{\omega}}, \text{ кг/м}^3, \quad (4.2)$$

де q – середня каламутність потоку, що відповідає його транспортуючій здатності; v_c – середня швидкість потоку, м/с; ω –

гідравлічна крупність, м/с; h – глибина потоку, м; I – ухил водної поверхні.

Формула **О.В. Караушева** для наносів із середньою гідравлічною крупністю (ω) від 0,009 до 0,02 м/с має вигляд:

$$q = 0,36 \frac{N \cdot v_c^2}{h} \left(\frac{v_c}{\omega} \right)^{0,75} 10^{-3}, \text{ кг/м}^3, \quad (4.3)$$

де N – характеристичне число, що залежить від коефіцієнта Шезі C :

$$N = \frac{M \cdot C}{g}. \quad (4.4)$$

Тут M – параметр, що дорівнює $0,7 \cdot C + 6$ при $10 \leq C \leq 60$; g – прискорення вільного падіння, м/с². Взагалі параметр C – для рівнинних річок знаходиться в межах 20-80, для річок гірських $10 \leq C < 20$. При $C = 60$, $N = \frac{48 \cdot C}{g}$.

Коефіцієнт Шезі (C) визначається за відомою формулою **Маннінга**:

$$C = \frac{1}{n} \cdot h^{1/6}, \quad (4.5)$$

де n – шорсткість русла:
$$n = \frac{h^{2/3} \cdot I^{1/2}}{v_c}. \quad (4.6)$$

Формула **К.В. Гришаніна**:

$$q = \frac{v_c^2}{g \cdot h} \cdot \frac{v}{\omega} \cdot \frac{C}{\sqrt{g}}, \quad (4.7)$$

де v_∂ – динамічна швидкість:
$$v_\partial = \sqrt{g \cdot h \cdot I}. \quad (4.8)$$

Формула **К.В. Россинського**:

$$q = 0.024 \frac{v_c^3}{h \cdot I}, \text{ кг/м}^3. \quad (4.9)$$

Приклад розрахунку. Вихідні дані: середня глибина потоку на ділянці $h = 5,83$ м; середня швидкість $v_c = 0,57$ м/с; ухил водної поверхні $I = 0,000065$ ‰; гідравлічна крупність 0,0033 м/с.

Схема розрахунку

1. За формулою Замаріна (4.1):

$$q = 0,022 \left(\frac{0,57}{0,0033} \right)^{3/2} \cdot \sqrt{5,83 \cdot 0,000065} = 0,972 \text{ кг/м}^3.$$

2. Для визначення величини транспортуючої здатності за формулою О.В. Караушева необхідно розрахувати параметр N (4.

$$4): N = \frac{M \cdot C}{g}.$$

- Коефіцієнт Шезі визначаємо за формулою Маннінга (4.5):

$$C = \frac{1}{n} \cdot h^{1/6}.$$

- Коефіцієнт шорсткості n дорівнює:

$$n = \frac{h^{2/3} \cdot I^{1/2}}{v_c} = \frac{5,83^{2/3} \cdot 0,000065^{1/2}}{0,57} = 0,046$$

$$\text{Тоді } C = \frac{1}{0,046} \cdot 5,83^{1/6} = 29,13$$

- Приймаємо, що $10 \leq C \leq 60$, то $M = 0,7 \cdot C + 6$.

$$N = \frac{(0,7 \cdot 29,13 + 6) \cdot 29,13}{9,81} = 78,37$$

- Тепер за формулою (4.3) визначаємо q :

$$q = \frac{0,36 \cdot 78,37 \cdot 0,57^2}{5,83} \left(\frac{0,57}{0,0033} \right)^{0,75} \cdot 10^{-3} = 74,89 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3.$$

3. Визначаємо величину транспортуючої здатності за залежністю К.В. Гришаніна (4.8).

- а) знаходимо динамічну швидкість потоку:

$$v_o = \sqrt{g \cdot H \cdot I} = \sqrt{9,81 \cdot 5,83 \cdot 0,000065} = 0,061 \text{ м/с}$$

- б) розраховуємо транспортуючу здатність (4.7):

$$q = \frac{0,57^2}{9,81 \cdot 5,83} \cdot \frac{0,061}{0,0033} \cdot \frac{29,13}{\sqrt{9,81}} = 0,977 \text{ кг/м}^3.$$

4. Знаходимо величину граничного насичення потоку

наносами за формулою К.І. Россинського (4.9):

$$q = 0,024 \cdot \frac{0,57^3}{5,83 \cdot 0,0033} = 0,23 \text{ кг/м}^3.$$

Розрахунки зводимо в таблицю 4.1 і порівнюємо отримані результати за формулою 4.10, прийнявши за основу формулу Е.А. Замаріна.

$$\sigma = \frac{\Phi_{\text{караушева}} - \Phi_{\text{замаріна}}}{\Phi_{\text{замаріна}}} \cdot 100\%, \quad (4.10)$$

де $\Phi_{\text{караушева}}$, $\Phi_{\text{замаріна}}$ – результати розрахунків транспортуючої здатності потоку відповідно за формулами Караушева та Замаріна.

Таблиця 4.1

Формула Е.А.Замаріна, q , кг/м ³	Формула К.В.Караушева		Формула К.В.Гришаніна		Формула К.І.Россинського	
	q , кг/м ³	%	q , кг/м ³	%	q , кг/м ³	%
0,972	$74,89 \cdot 10^{-3}$	7,70	0,977	Перев 0,51	0,23	23,66

5. Розрахунок деформації дна

Метою практичної роботи є: набуття практичних навичок у розрахунку деформації дна.

Завдання. Розрахувати деформацію дна русла методом Караушева-Маккавєєва (вихідні дані додаток Г).

Методика виконання. При наявності даних про каламутність потоку розрахунок деформації русла можна здійснювати методом Караушева-Маккавєєва.

В основі методу лежить вираження результуючої вертикальної секундної витрати наносів через одиницю поверхні русла, одержане внаслідок досліджень умов зависання та осаджування наносів у придонному шарі:

$$q_s = \frac{v'}{2} (S_H - \Phi S_{\text{нєз}}) (1 + \varepsilon), \quad (5.1)$$

де q_s – умовна швидкість деформації, м/с; v' – середнє значення

абсолютної величини вертикальної складової пульсаційної швидкості; Φ – функція безрозмірної величини ε ; $S_{нкз}$ – придонна каламутність зависання; S_H – загальна донна каламутність.

Як спрощення приймають, що наноси є однорідними за гранулометричним складом. Тоді величини, які входять до формули (5.1), будуть визначатись такими співвідношеннями.

Безрозмірний параметр ε знаходиться за середнім значенням гідравлічної крупності наносів:

$$\varepsilon = \frac{\omega}{v'} . \quad (5.2)$$

Функція Φ визначається за таблицею (додаток Д).

Вертикальну складову пульсаційної швидкості біля дна визначають за формулою:

$$v' = \frac{v_c}{\sqrt{N}} \quad (5.3)$$

де v_c – середня швидкість потоку, м/с; N – безрозмірна величина, яка визначається за формулою:

$$N = \frac{M \cdot C}{g}, \quad (5.4)$$

де C – коефіцієнт Шезі, який знаходиться за формулою Маннінга:

$$C = \frac{1}{n} h^{1/6}, \quad (5.5)$$

де h – глибина потоку; n – коефіцієнт шорсткості русла

$$n = \frac{h^{2/3} \cdot I^{1/2}}{v_c}, \quad (5.6)$$

де I – повздовжній похил водної поверхні.

Величина M при $10 \leq C \leq 60$ знаходиться за формулою $M = 0,7 \cdot C + 6$, а при $C > 60$ $M = 48 = const$.

Обробка великої кількості натурних та експериментальних даних дала можливість А.В. Караушеву одержати наближену формулу для розрахунку придонної каламутності зависання:

$$S_{нкз} = 0,000057 \cdot N \frac{v_H^2}{h}, \quad (5.7)$$

де v_H - поздовжня складова швидкості біля дна:

$$v_H = v \sqrt{\frac{0,53 \cdot C - 4,1}{C - 2}}. \quad (5.8)$$

При розрахунку деформації русла слід мати на увазі, що $S_{нкз}$ не може бути менше S_H . Якщо обчислена за формулою $S_{нкз}$ виявляється меншою S_H , то необхідно прийняти $S_{нкз} \cong S_H$.

У наведених співвідношеннях донна каламутність вимірюється у відносних об'ємних одиницях, тобто виражає відношенням об'єму завислих наносів до об'єму суміші води з наносами, які містяться в ньому:

$$|S| = \frac{m^3(\text{тверд.речовини})}{m^3(\text{суспензії})}. \quad (5.9)$$

При такій розмірності каламутності, секундна витрата наносів через одиницю поверхні дна потоку виражається в об'ємних одиницях:

$$|q_s| = \frac{m^3(\text{тверд.речовини})}{m^2 c} = \frac{m}{c}. \quad (5.10)$$

Таким чином, одержуємо розмірність швидкості, а q_s можна назвати умовною швидкістю деформації.

Результуюча вертикальна витрата наносів визначає деформацію русла. Позитивна витрата $+q_s$ спрямована донизу, а негативна – догори, тому при $q_s = 0$ русло динамічно стає.

Для визначення фактичних розмірів наливів та розмивів за секунду необхідно врахувати пористість ґрунту Δ , яка показує об'єм пор у одиниці об'єму ґрунту.

Прирошення висоти дна Δh за деякий інтервал часу Δt виражається співвідношенням:

$$\Delta h = \frac{q_s \cdot \Delta t}{1 - \Delta}, \text{ м} \quad (5.11)$$

де різниця $1 - \Delta$ визначає об'єм твердих частинок у одиниці об'єму ґрунту.

Переважно пористість ґрунту характеризується значенням

$$\Delta = 0,3 - 0,5.$$

Деформації Δh спричиняють до зміни глибини потоку, при цьому при розмиві Δh від'ємне. Зі зміною глибини змінюється гідравліка потоку, тому розрахунковий інтервал часу Δt повинен задаватись відносно малим з тим, щоб обчислені значення Δh ніде не були більшими за $\frac{1}{4} - \frac{1}{6}$ від первісного значення.

Викладений метод розрахунку деформації відзначається наочністю, бо дозволяє визначити зони місцевого розмиву та наміву в межах ділянки ріки, що розглядається. Недоліком методу є необхідність використання докладних планів полів донної каламутності, дані про які дуже обмежені.

Приклад. Дано: глибина потоку $h = 3,0$ м, середня швидкість $v_c = 0,42$ м/с, середній діаметр часток $d = 0,21$ мм, похил водної поверхні $I = 0,00018$ ‰, донна каламутність $s_H = 0,000030$ м³/м³, пористість наносів $\Delta = 0,35$, гідравлічна крупність $\omega = 0,0207$.

1. Визначаємо шорсткість русла:

$$n = \frac{3,0^{2/3} \cdot 0,00018^{1/2}}{0,42} = 0,066$$

2. Коефіцієнт Шезі знаходимо за формулою Маннінга:

$$C = \frac{1}{0,066} 3,0^{1/6} = 18,2.$$

3. Визначаємо число M , як $M = 0,7 \cdot 18,2 + 6 = 18,74$

4. Параметр Караушева N , знаходимо за виразом:

$$N = \frac{18,2 \cdot 18,74}{9,81} = 34,77$$

5. Вертикальна складова пульсаційної швидкості біля дна дорівнює:

$$v' = \frac{0,42}{\sqrt{34,77}} = 0,071 \text{ м/с.}$$

6. Безрозмірний параметр $\varepsilon = \frac{0,0207}{0,071} = 0,29$

7. Згідно додатку Д значення функції Φ при $\varepsilon = 0,29$ дорівнює 0,56.

8. Обчислюємо поздовжню складову швидкості біля дна:

$$v_n = 0,42 \sqrt{\frac{0,53 \cdot 18,2 - 4,1}{18,2 - 2}} = 0,24 \text{ м/с.}$$

9. Визначаємо придонну каламутність зависання:

$$S_{\text{пкз}} = 0,000057 \cdot 34,77 \cdot \frac{0,24^2}{3,0} = 0,00004 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

10. Знаходимо швидкість деформації:

$$q_s = \frac{0,071}{2} \cdot (0,00003 - 0,56 \cdot 0,00004) \cdot (1 + 0,29) = 0,000000348 \text{ м/с.}$$

Прирошення висоти дна, яке визначається за виразом (5.11), за дві доби буде складати:

$$\Delta h = \frac{0,000000348 \cdot 86400 \cdot 2}{1 - 0,35} = 0,092 \text{ м.}$$

Знак “+” показує, що на ділянці річки відбувається намів русла.

6. Визначення вимірників типів руслового процесу

Метою практичної роботи є: набуття практичних навичок у визначенні вимірників типів руслового процесу.

Завдання. Необхідно описати типи деформацій річкових русел та визначити кількісні характеристики (вимірники) наступних типів руслового процесу: стрічковогрядового, побічного, вільного мандрування та руслової багатурукавності (вихідні дані у додатку Е).

Методика виконання. Усі вимірники типів руслового процесу можна поділити на чотири групи: лінійні, площинні, кутові та швидкісні. Студенти визначають наступні:

1. Для стрічковогрядового типу:

- крок гряди λ_z – відстань між гребеня двох суміжних гряд;
- висоту гряди Δ_z – підвищення гряди над підшовою підвалля,

яке виміряне у створі, де воно має найбільше значення;

- ширину меженного русла B – відстань між бровками межених берегів, яка є характеристикою крупності річки.

- ширину річки b – відстань між урізами води;

- швидкість переміщення гряд – C .

2. Для побічного типу:

- ширину русла B – відстань між бровками протилежних берегів;

- ширину річки b – відстань між урізами води меженного потоку, яка виміряна проти середньої частини обсохлого побіччя;

- крок побіччя $\lambda_{пб}$ – відстань вздовж прямої між двома суміжними точками перегину осьової лінії меженного потоку;

- висота побіччя $\Delta_{пб}$ – перевищення гребеня побіччя над підшовою підвалля, яке виміряне у створі, де це перевищення має найбільшу величину.

3. Для вільного меандрування:

- крок закруту λ_3 – відстань по прямій між точками перегину осьової лінії русла, які обмежують закрут;

- довжину закруту S_3 – відстань між тими ж точками, яка виміряна по осьовій лінії русла (фарватеру);

- відносну довжину закруту $\frac{S_3}{\lambda_3}$ – відношення довжини закруту до його кроку;

- кут входу $\alpha_{вх}$ – кут, створений лінією кроку та вектором, направленим в бік течії по дотичній до осьової лінії у верхній точці її перегину;

- кут виходу $\alpha_{вих}$ – кут, створений подовженням лінії кроку та вектором, який проходить через низову точку перегину;

- кут розвороту α – кут, створений двома названими вище векторами і, який дорівнює сумі кутів виходу та входу;

- висота закруту I_m – відстань від лінії кроку до найбільш віддаленої точки осьової лінії русла;

- кут сполучення β – кут, що утворений продовженням лінії кроку закруту, який знаходиться вище, та лінією кроку даного

закруту. Він дорівнює різниці кута входу закруту, що знаходиться нижче та кута виходу закруту, що знаходиться вище

$$\beta = \alpha_{\text{ex}2} - \alpha_{\text{ex}1}.$$

Коли $\alpha_{\text{ex}2} > \alpha_{\text{ex}1}$, то лінія кроку відхиляється праворуч, а коли $\alpha_{\text{ex}2} < \alpha_{\text{ex}1}$, то лінія відхиляється ліворуч.

4. Для руслової багаторукавності:

- щільність осередків k_{oc} – відношення площі осередків на даній ділянці річки f до площі цієї ділянки F ;

- густота осередків m – кількість осередків, що припадає на ділянку річки, довжина якої дорівнює ширині русла;

- середню площу осередків f – відношення щільності осередків до їх густоти $f = \frac{k_{oc} \cdot B_p^2}{m}$.

B_p – це ширина русла (м) – найкоротша віддаль між бровками протилежних берегів.

Якщо масштаби на карті: 1:10 000 (в 1 см – 100 м), 1: 1000 (в 1 см – 10 м), 1: 100 (в 1 см – 1 м), 1: 5000 (в 1 см – 50 м).

7. Визначення руслоформуючих витрат води

Метою практичної роботи є: набуття практичних навичок у розрахунку руслоформуючих витрат води.

Завдання. Розрахувати руслоформуючі витрати для заданих річок (вихідні дані Додаток В,Є).

Методика виконання. Детальне обґрунтування визначення руслоформуючої витрати, методики її розрахунку належить М. І. Маккавєєву.

Під **руслоформуючими витратами** він розуміє витрати, при яких в багаторічному розрізі часу здійснюється основний стік наносів і найбільш активно проявляються руслові деформації.

Визначення руслоформуючих витрат М.І. Маккавєєв пропонує проводити по максимумах добутку:

$$Q_{pf} = f(\sigma Q_{\text{сер}}^n PI), \quad (7.1)$$

де σ – коефіцієнт, що враховує ширину розливу річки (рівний 1 до виходу води на заплаву; 0,9 – при ширині затопленої заплави менше двох ширин русла; 0,5 – коли затоплена заплава більше десяти ширин русла); $Q_{сер}$ – середня витрата кожного із інтервалів, на які розбивається весь діапазон витрат у даному створі, м³/с; n – показник ступеня, що залежить від крупності річкового алювію (його величина коливається від 1,1 для мулу з піском, глини до 3,0 для гальково-валунних русел); P – ймовірність перевищення витрат кожного інтервалу; I – середній похил водної поверхні у даному інтервалі витрат.

Руслоформуюча витрата для річок може бути визначена за довідником «Малі річки України» і монографією О.Г. Ободовського. Зокрема, О.Г. Ободовський у роботі відмічає, що питома вага руслоформуючих витрат у межах русла (кінематична енергія потоку) вища, ніж при проходженні руслоформуючих витрат води під час виходу води на заплаву у період високих водопіль.

Також, існує офіційно затверджена Державним комітетом України по водному господарству у 2007 році «Методика розрахунку руслоформуючих витрат на гірських річках України», яку розробили ВАТ проектно-технологічний інститут «Укроргводбуд» та НУВГП в особі Корбутяка М.В., Корбутяка В.М.

Руслоформуючі витрати води на гірських річках прирівняні до витрат, при яких енергія потоку спрямована на формування в руслі характерних морфо метричних утворень, шляхом руху наносів в дискретній формі (транзит дрібних часток здійснюється безперервно) і в цілому визначається динамічною рівновагою всієї системи «потік-русло». Динамічну рівновагу можна записати у вигляді рівняння:

$$0,0435 \cdot \left(\frac{0,8d_{cp.зв.}}{S_0^{0,9}} \right)^{1/6} = \frac{h^{2/3} \cdot \sqrt{I}}{V_{он}}, \quad (7.2)$$

де $d_{cp.зв.}$ – середньозважений діаметр руслових наносів без врахування само вимощування, м; $S_0^{0,9}$ – коефіцієнт неоднорідності, значення якого змінюється від 0 до 1; I – гідрравлічний похил водотоку, м/км; h – глибина русла річки, м; $V_{он}$ – середня швидкість

водотоку, яка відповідає динамічній рівновазі системи і можна визначити по співвідношенню:

$$V_{\text{он}} = Q_{\text{рф}} / Bh_{\text{рф}}, \quad (7.3)$$

де B – ширина річки, м; $h_{\text{рф}}$ – глибина річки при проходженні руслоформуючої витрати води, м.

Розрахунок значення руслоформуючої витрати води за формулою 7.2 виконується підбором h до тих пір, поки ліва частина залежності не буде дорівнювати правій її частині.

В навчальних цілях проведемо розрахунок руслоформуючої витрати води за формулою 5.1.

Приклад. Розрахунок руслоформуючої витрати для р. Уборть поблизу с. Рудня Іванівська проведено у табличній формі.

Таблиця 7.1

Розрахунок руслоформуючої витрати води для р. Уборть
поблизу с. Рудня Іванівська

Назва річки, гідрологічного посту	σ	n	$Q_{\text{сер}},$ $\text{м}^3/\text{с}$	$P, \%$	$I,$ $\%$	Розрахована $Q_{\text{рф}}, \text{м}^3/\text{с}$
Уборть – с. Рудня Іванівська	0,9	2,1	1,22	20,92	0,5	14,9

8. Визначення екологічно допустимих витрат води

Метою практичної роботи є: набуття практичних навичок у розрахунку екологічно допустимих витрат води.

Завдання. Розрахувати екологічно допустиму витрату води $p=95\%$ забезпеченості для заданої річки у літню та зимову межень, враховуючи, що екологічно допустимі мінімальні витрати у літню і зимову межень наведено у додатку Ж.

Методика виконання. Необхідно відмітити, що розрахунок екологічно допустимих витрат (ЕДВ) води необхідно проводити за багатьма критеріями. Так, ЕДВ проводять за еколого-гідрологічними, біологічними, гідравлічними критеріями за різними методиками. Розглянемо методику розрахунку ЕДВ води за О.Г. Ободовським.

Розрахунок екологічно допустимих витрат води за гідравлічними критеріями запропонував О.Г. Ободовський. Під **екологічно допустимими витратами води** він розуміє витрати, які не порушують саморегулюючої системи «потік-русло». В більш широкому розумінні – це витрати, які відповідають при проходженні водопіль і високих паводків руслоформуючим витратам води і здійснюють при цьому основний стік завислих і донних наносів, а в меженний період відповідають витратам з незамулюючими швидкостями, при яких спостерігається лише стік завислих наносів.

Екологічно допустимі витрати (ЕДВ) води визначають для всіх фаз водності: водопілля, межені, паводку. При проходженні ЕДВ необхідно дотримуватися умови:

$$V_{из} < V_{ЕДВ} < V_{нр}, \quad (8.1)$$

де $V_{ЕДВ}$ – швидкість, яка відповідає проходженню ЕДВ в меженний період, м/с; $V_{из}$ – мінімальні незамулюючі швидкості, м/с; $V_{нр}$ – максимальні нерозмиваючі швидкості, м/с.

Розрахунок ЕДВ води реалізується за даними конкретного гідрологічного поста у вигляді наступних операцій:

1. Розраховуються руслоформуючі витрати води Q_{ϕ} .
2. Визначається розрахунковий діаметр руслоформуючих наносів. Окремо для донних наносів визначаються розміри частинок, які складають 75% від загального вмісту наносів із середнім значенням характеристик їхнього складу. Для цих значень вмісту наносів встановлюється дата формування характеристики наносів і відповідна їм середньодобова витрата води.
3. За вимірними гідравлічними характеристиками русла проводиться побудова графіків зв'язку $Q=f(h)$, $Q=f(v)$, де Q – виміряна витрата води, м³/с; h – середня глибина потоку, м; v – середня швидкість течії, м/с. За цими графіками визначається середня глибина і середня швидкість потоку, які відповідають $Q_{ЕДВ}$ і для умов межені і для водопілля.
4. За розрахунковим діаметром руслоформуючих наносів, середньою глибиною потоку і даними довідникової літератури обґрунтовується максимальна нерозмиваюча середня в перерізі

швидкість V_{np} і мінімальна незамулююча швидкість в перерізі $V_{из}$ для кожної з фаз водності.

5. Для всіх фаз водності проводиться перевірка умови (8.1).

Якщо вказана умова дотримується, то всі отримані середньодобові витрати води за всіма фазами водності (крім водопілля) можна вважати екологічно допустимими.

Якщо умова не дотримується, то методом підбору визначається витрата, швидкості якої задовольняють цю умову.

6. Обчислюються середні в перерізі швидкості проходження характерних для даного створу руслоформуючих витрат води. Кожна із згаданих швидкостей повинна бути більше нерозмиваючої, тобто $V_{Qpf} > V_{np}$.

При не дотриманні цієї умови у розрахунок включається верхній інтервал руслоформуючої витрати води Q_{ϕ} , що спостерігається при затопленні заплави.

Також О.Г. Ободовським було доведено те, що між ЕДВ води і ЕДМ (екологічно допустимими мінімальними) витратами води є тісний зв'язок, який свідчить, що рівняння регресії для літньої межні має вигляд:

$$Q_{ЕДВ} = 2,132Q \min_{ЕДВ} - 3,06. \quad (8.2)$$

$$\text{Для зимової межні: } Q_{ЕДВ} = 6,29 + 1,80Q \min_{ЕДВ}. \quad (8.3)$$

Приклад. Для р. Тетерів поблизу м. Житомир. Екологічно допустима мінімальна витрата у літню межень склала $3,52 \text{ м}^3/\text{с}$, а в зимову – $16,3 \text{ м}^3/\text{с}$. Визначити екологічну витрату води використовуючи гідравлічний критерій (з практичної роботи №1) за формулами (8.2-8.3).

$$Q_{ЕДВ} = 2,132 \cdot 3,52 - 3,06 = 4,44 \text{ м}^3/\text{с} - \text{ЕДВ води у літню межень.}$$

$$Q_{ЕДВ} = 6,29 + 1,80 \cdot 16,3 = 35,63 \text{ м}^3/\text{с} - \text{ЕДВ води у зимову межень.}$$

Отже, ЕДВ води для окремих фаз водності набагато перевищують ЕДМ витрати. Тому, для водогосподарських потреб необхідно визначати ЕДМ витрати води, щоб не завдавати шкоди річкам.

9. Визначення стійкості річкових русел

Метою практичної роботи є: набуття практичних навичок у визначенні стійкості річкових русел.

Завдання. Розрахувати стійкість русла за Лохтіним, Маккавасвим, Чаловим, Великановим, Алтуніним, Глушковым та іншими, проаналізувати їх. Вихідні дані для розрахунку у додатку 3.

Методика виконання. *Стійкість русел* – важливий блок у гідролого-екологічному аналізі руслових процесів, який серед багатьох інших факторів виступає характеристикою екологічного стану русла. Стійкість русел може виступати «індикатором» взаємодії у системі «потік – русло» між активними та пасивними факторами, включаючи і господарську діяльність. Суттєвим «регулятором» є ерозія на водозборі, зростання або затухання якої певним чином впливає на зміну стійкості русел. Для характеристики стійкості русел можна використати такі форми визначення поняття «стабільність»:

– *інертність* – здатність русла залишатися в попередньому стані;

– *відновлюваність* – здатність русла повертатися в попередній стан;

– *пластичність* – здатність русла переходити з одного стану в інший. Із цими трьома формами пов’язані і характер прояву ерозійно-аккумулятивних процесів у руслі.

Оцінка стійкості річкових русел передбачає збір інформації, методи оцінки та пріоритетність. У даному питанні ми розглянемо саме методи оцінки ступеню стійкості.

Зміна форм стійкості пов’язана з такими явищами, як замулення русел, розмиви берегів, які є одними з індикаторів екологічного стану русла. На ці положення спираються найпоширеніші показники стійкості русла – число Лохтіна, яке обчислюється за формулою:

$$L = \frac{d}{I}, \quad (9.1)$$

де d – середній діаметр руслоформуєчих наносів на відріжку русла, мм; I – похил, ‰, який частіше замінюється на падіння H , м/км) та Маккавєєва, яке назване ним коефіцієнтом стабільності K_c :

$$K_c = 1000 \cdot \frac{d}{B \cdot I}, \quad (9.2)$$

де B – ширина меженного русла, м.

Згідно з даними цих найбільш застосовуваних коефіцієнтів зроблена класифікація ділянок русел за ступенем стійкості (Чалов Р.С., табл. 9.1).

Таблиця 9.1

Класифікація ділянок русла за ступенем стійкості

Характеристики стійкості	Показники стійкості	
	L	K_c
Нестійкі	<2	<6
Слабо стійкі	2-5	6-15
Відносно стійкі	5-10	15-20
Стійкі	>10	>20
Абсолютно стійкі	>50	>100

Розглянемо критерії стабільності, запропоновані іншими дослідниками. Великанов М.А. запропонував визначати стійкість ділянки русла за такою формулою:

$$\psi = \frac{d}{H \cdot I}, \quad (9.3)$$

де H – глибина, м. Чим більшим є індекс Ψ (грец. пси), тим слабший транспорт наносів та менша інтенсивність зміни русла. Надзвичайно стабільне русло характеризується індексом $\Psi > 15$. Вертикальні деформації (розмив та акумуляція) сприяють горизонтальним, коли русло зміщується по дну долини, відбуваються його звуження та розширення. Індекс, який відображає стабільність русла в поперечному до течії напрямі й заснований на гідроморфологічній залежності С.Т.Алтуніна має вигляд:

$$A = \frac{\sqrt{Q}}{B \cdot I}, \quad (9.4)$$

де A – індекс поперечної стабільності; Q – середня максимальна витрата води, м³/с. Діапазон значень коефіцієнта, що пов'язує витрату води, похил та ширину русла, знаходиться в межах 0,9 – 2,1. Чим більша величина A , тим менша інтенсивність горизонтальних деформацій.

Індексом, що відображає інтенсивність горизонтальних деформацій, можна вважати й морфологічний параметр русла, запропонований В.Г. Глушковым:

$$\Gamma = \frac{\sqrt{B}}{H}, \quad (9.5)$$

де Γ – параметр Глушкова. За думкою автора, його значення змінюються у залежності від характеру ґрунту, в якому розвивається русло: для твердих порід він дорівнює 1,4; для легкорозмивних збільшується до 5,5; для середніх умов $\Gamma = 2,75$.

Досить цікавим показником є число Фруда, яке має вигляд:

$$Fr = \frac{v^2}{g \cdot H}. \quad (9.6)$$

Цей коефіцієнт враховує рухливість донних частинок та зміну елементів руху за довжиною потоку в часі. Число Фруда ще називають коефіцієнтом рухливості та енергетичною характеристикою потоку. Для гірських і, частково, передгірських річок характерні прояви бурхливого руху потоків та їх частин. Ця особливість здавна вивчається дослідниками руслових процесів. Основним критерієм появи бурхливої течії вважається перехід чисел Фруда вище одиниці. Для оцінки стійкості русел гірських річок використовують параметри Крошкіна:

$$K_y = \sqrt{\frac{B \cdot d}{H}} \quad (9.7)$$

та Ржаніцина:

$$y = \frac{d \cdot B}{H \cdot I}, \quad (9.8)$$

які включають у себе геометричні розміри поперечного профілю, а також показники транспортуючої здатності потоку та шорсткості русла. Одночасно застосовують параметр, який враховує рухливість руслових відкладів:

$$D_R = \frac{H \cdot I}{d}. \quad (9.9)$$

При оцінці ступеня стабільності русла гірської річки використовують також критерій Гришаніна:

$$M \frac{H \cdot (g \cdot B)^{0,25}}{Q^{0,5}} = const. \quad (9.10)$$

Гришанін вважає стійкими русла, складені з дрібнозернистого матеріалу, за умови $0,75 \leq M \leq 1,05$. При значних величинах ($M > 1,05$) потік характеризується недостатньою транспортуючою здатністю, що призводить до акумуляції наносів. І навпаки, при $M < 0,75$ транспортуюча здатність потоку підвищена, що свідчить про розмив русла на цій ділянці. Для річок Українських Карпат область стійкого положення русла знаходиться в межах $0,35 < M < 0,45$. Подібний підхід використовувався Г.В. Железняковим:

$$Ж = \frac{v \cdot B}{g \cdot H}. \quad (9.11)$$

Приймається, що при $Ж = 0,82 - 3,16$ русло стійке.

Для зіставлення гальково-валунних русел (скельних) необхідна особлива шкала визначення стійкості. Вона може бути побудована з урахуванням форми поперечного перерізу на основі закономірності: зі збільшенням відносної ширини русла росте рухливість руслових утворень та падає його стійкість. Форма живого перерізу входить у морфометричний показник С.Г. Шатаєвої

$$A = \lg \Delta H / \lg \Delta B, \quad (9.12)$$

який характеризує приріст глибини потоку при зміні ширини. Чим менша стійкість русла, тим менша крутизна його підводних відкосів. Цей показник можна використовувати лише для оцінки інтенсивності деформацій піщаних перекатів. У табл. 9.2 подана класифікація гальково-валунних русел за ступенем їх умовної стійкості за показниками Шатаєвої та Маккавєєва. Однак характеристики стійкості певною мірою і умовні, оскільки в загальній системі русел гальково-валунні абсолютно стійкі.

Таблиця 9.2

Класифікація гальково-валунних русел за ступенем їх умовної стійкості

Характеристика умовної стійкості	Показники стійкості		
	K_c		
	Звивини	Прямолінійні	Розгалуження

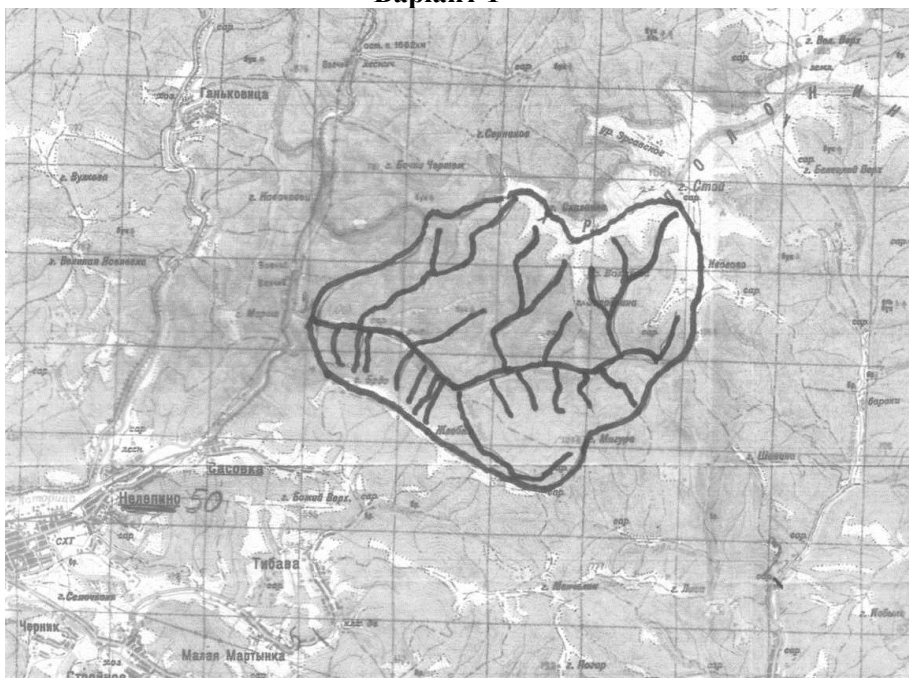
<i>A</i>			ділянки	
Нестійкі	<1,4	<610	—	<310
Слабо стійкі	1,4-7	610-780	<110	310-330
Відносно стійкі	1,7-2,0	780-950	110-230	330-350
Стойкі	>2,0	>950	>230	>350

ДОДАТКИ

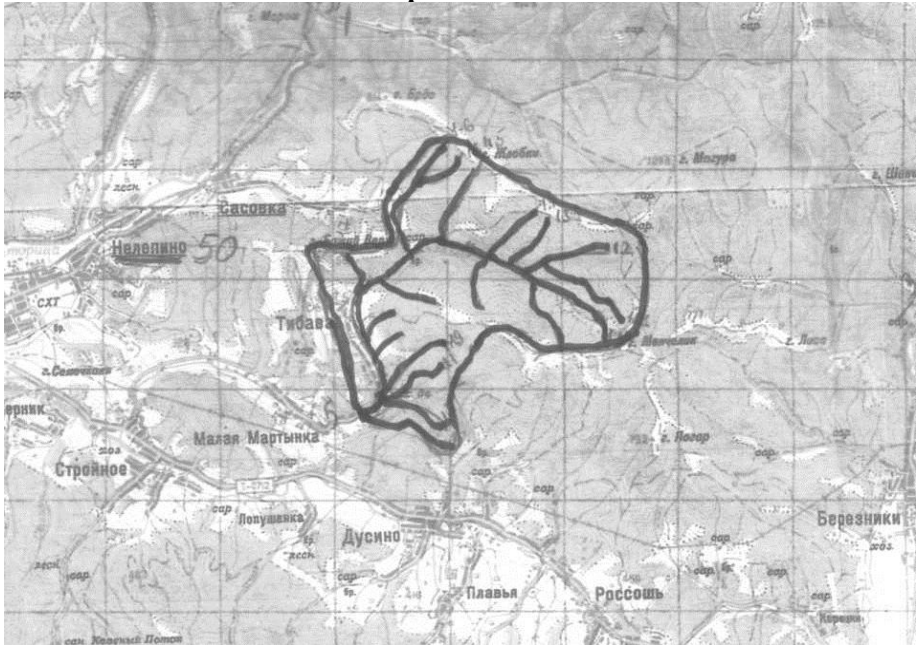
Додаток А

Топографічні карти для розрахунку гідрографічних характеристик
річкових водозборів, М 1:100 000

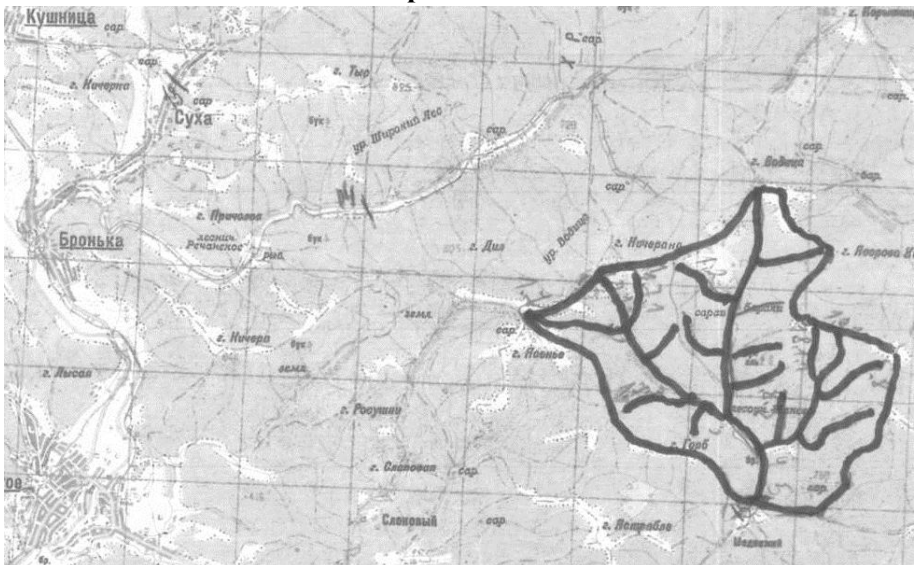
Варіант 1



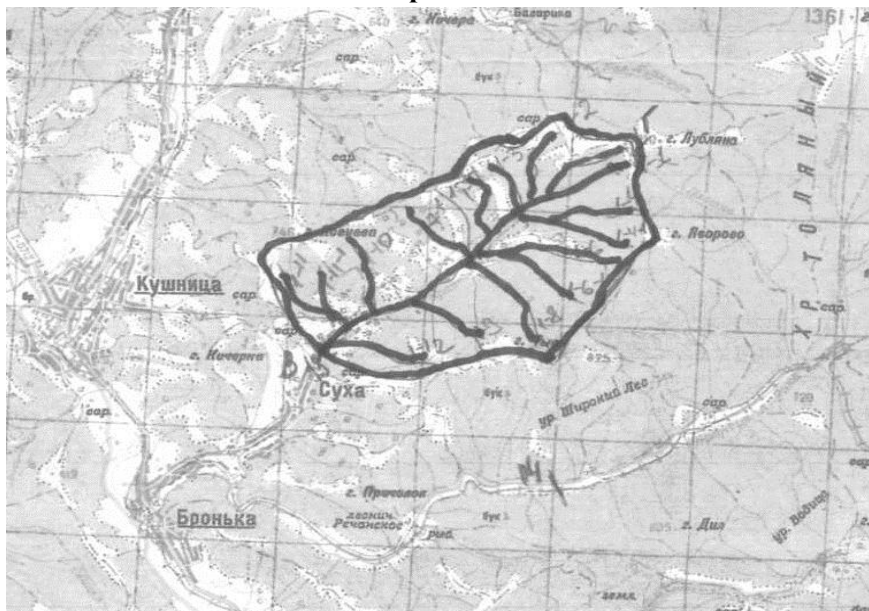
Вариант 2



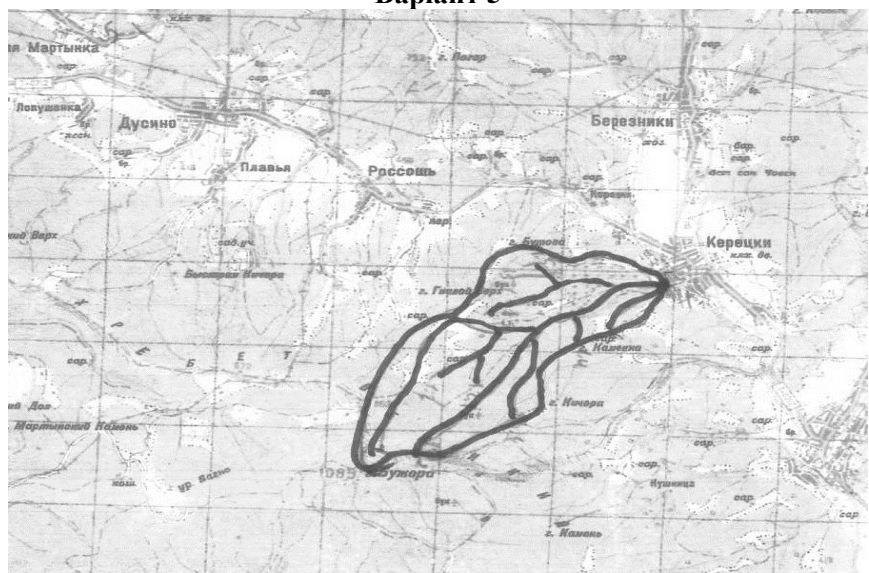
Вариант 3



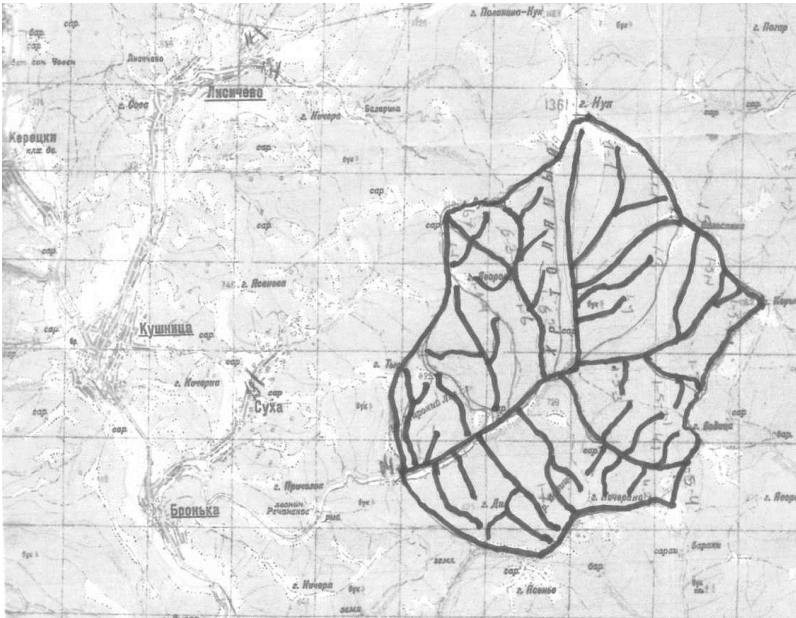
Варіант 4



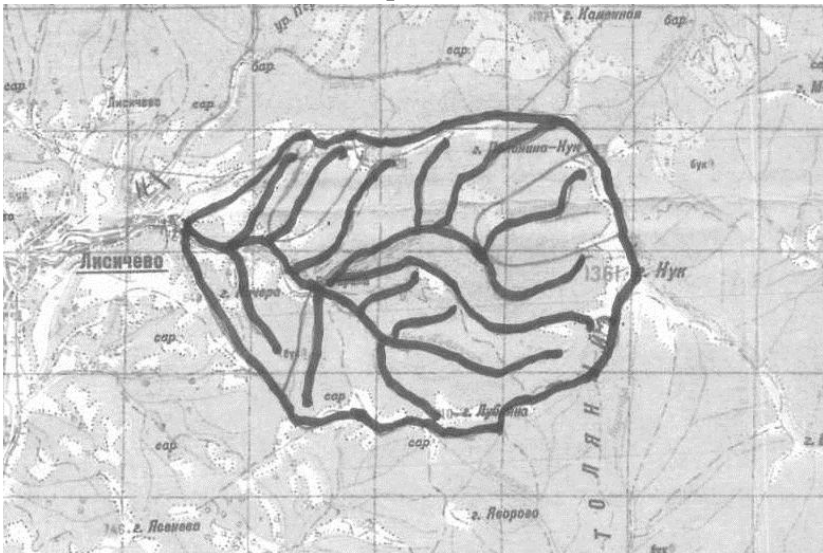
Варіант 5



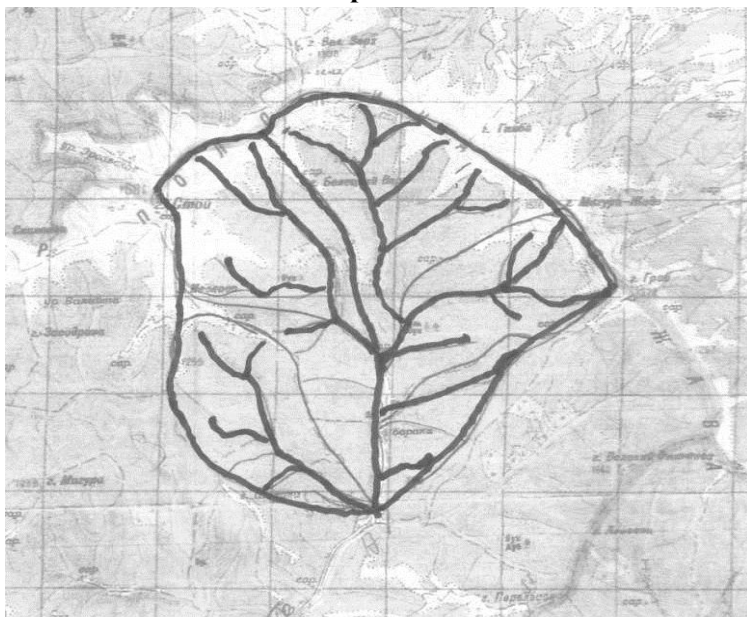
Варіант 6



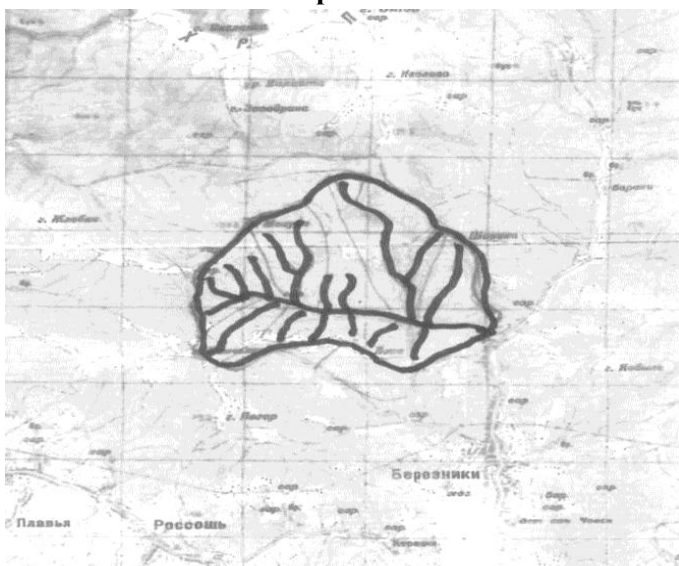
Варіант 7



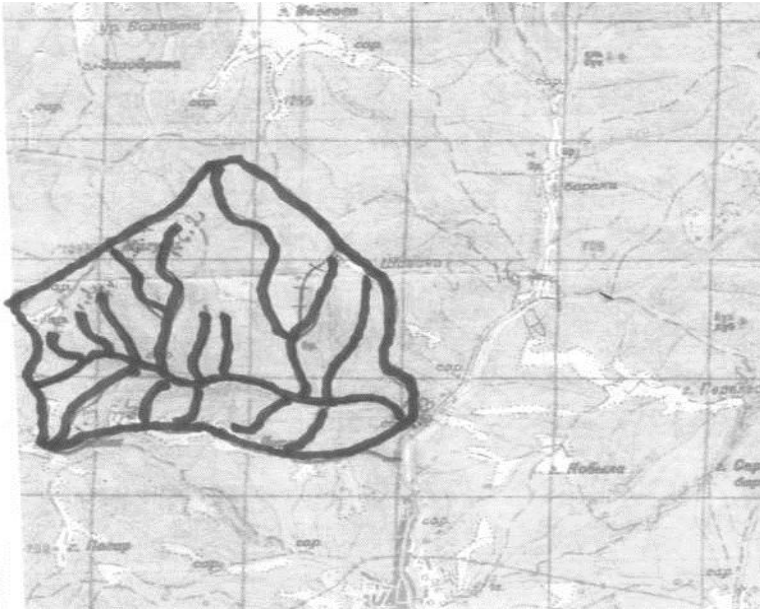
Варіант 8



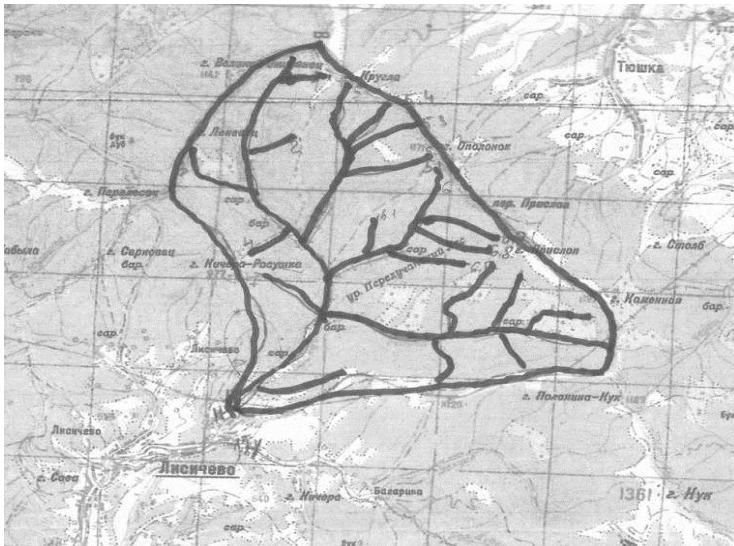
Варіант 9



Варіант 10



Варіант 11



Додаток Б

Вихідні дані до розрахунку критичних швидкостей $v_{кр}$ і витрат донних наносів q_0

Варіант	Ширина потоку B , см	Глибина потоку h , см	Середня крупність донних відкладів для незв'язних ґрунтів d , мм	Відношення $\frac{d_{5\%}}{d}$	Середня крупність донних відкладів для зв'язних ґрунтів d , мм	Середній діаметр донних наносів рівнинних річок з піщаним дном d , мм	Середній діаметр піщано-гравійних донних наносів d , мм	Похил водної поверхні i , ‰
1	2000	56	2,0	1,85	0,008	1,85	9,0	0,006
2	2120	66	2,0	1,85	0,008	1,85	9,0	0,006
3	2200	65	2,0	1,85	0,008	1,85	9,0	0,006
4	2450	68	2,0	1,85	0,008	1,85	9,0	0,006
5	2500	69	2,0	1,85	0,008	1,85	9,0	0,006
6	2700	70	2,0	1,85	0,008	1,85	9,0	0,006
7	2740	72	2,0	1,95	0,008	1,85	9,0	0,006
8	2820	73	2,0	1,95	0,008	1,85	9,0	0,006
9	2900	76	2,0	1,95	0,008	1,85	9,0	0,006
10	3000	75	2,5	1,95	0,0082	1,96	9,8	0,006
11	3100	80	2,5	1,95	0,0082	1,96	9,8	0,007
12	3200	82	2,5	1,95	0,0082	1,96	9,8	0,007
13	3300	83	2,5	2,0	0,0082	1,96	9,8	0,007
14	3400	84	2,6	2,0	0,0082	1,96	9,8	0,007
15	3550	85	2,6	2,0	0,0053	1,96	9,8	0,007

16	3650	86	2,6	2,0	0,0053	1,97	9,4	0,007
17	3750	87	2,6	2,0	0,0053	1,97	9,4	0,007
18	3800	88	2,6	2,0	0,0053	1,97	9,4	0,007
19	3900	89	2,6	2,0	0,0053	1,97	10,0	0,007
20	2130	90	2,7	2,5	0,0057	1,97	10,0	0,008
21	2140	91	2,7	2,5	0,0057	1,97	10,0	0,008
22	2150	92	2,7	2,5	0,0057	1,83	10,0	0,008
23	2160	93	2,7	2,5	0,0057	1,83	10,0	0,008
24	2170	94	2,8	2,5	0,0057	1,83	10,0	0,008
25	2180	95	2,8	2,5	0,0069	1,83	10,2	0,008
26	2210	96	2,8	3,0	0,0069	1,83	10,2	0,009
27	2220	97	2,9	3,0	0,0069	1,86	10,2	0,009
28	2400	98	3,0	3,0	0,0069	1,86	10,2	0,009
29	3000	99	3,2	3,0	0,007	1,86	10,2	0,009
30	3050	81	3,2	3,0	0,0072	1,86	10,2	0,009

Для всіх варіантів, для рівнинних річок параметр турбулентності $\varphi=1,03$; для передгірських річок $\varphi=1,31$.

Вихідні дані до розрахунку транспортуючої здатності потоку

Варіант	h , м	V , м/с	I , ‰	ω , м/с
1	5,44	0,29	0,000028	0,0022
2	5,27	0,45	0,000026	0,0024
3	5,70	0,39	0,000025	0,0026
4	5,19	0,42	0,000013	0,0030
5	5,35	0,35	0,000013	0,0034
6	4,37	0,40	0,000015	0,0038
7	4,65	0,56	0,000026	0,0042
8	4,90	0,59	0,000027	0,0044
9	5,20	0,72	0,000030	0,0046
10	8,10	0,42	0,000008	0,0048
11	5,30	0,66	0,000020	0,0052
12	5,90	0,70	0,000018	0,0054
13	5,28	0,41	0,000015	0,0056
14	5,70	0,51	0,000013	0,0058
15	5,95	0,40	0,000020	0,0062
16	5,60	0,57	0,000011	0,0064
17	5,45	0,44	0,000010	0,0066
18	5,32	0,51	0,000039	0,0068
19	5,92	0,57	0,000044	0,0071
20	5,00	0,41	0,000030	0,0073
21	5,08	0,58	0,000036	0,0074
22	4,00	0,37	0,000018	0,0076
23	5,80	0,51	0,000019	0,0078
24	5,67	0,47	0,000021	0,0005
25	5,92	0,49	0,000010	0,0008
26	5,00	0,30	0,000028	0,0009
27	5,06	0,61	0,000052	0,0011
28	6,37	0,72	0,000055	0,0014
29	5,12	0,65	0,000053	0,0016
30	5,42	0,68	0,000059	0,0018

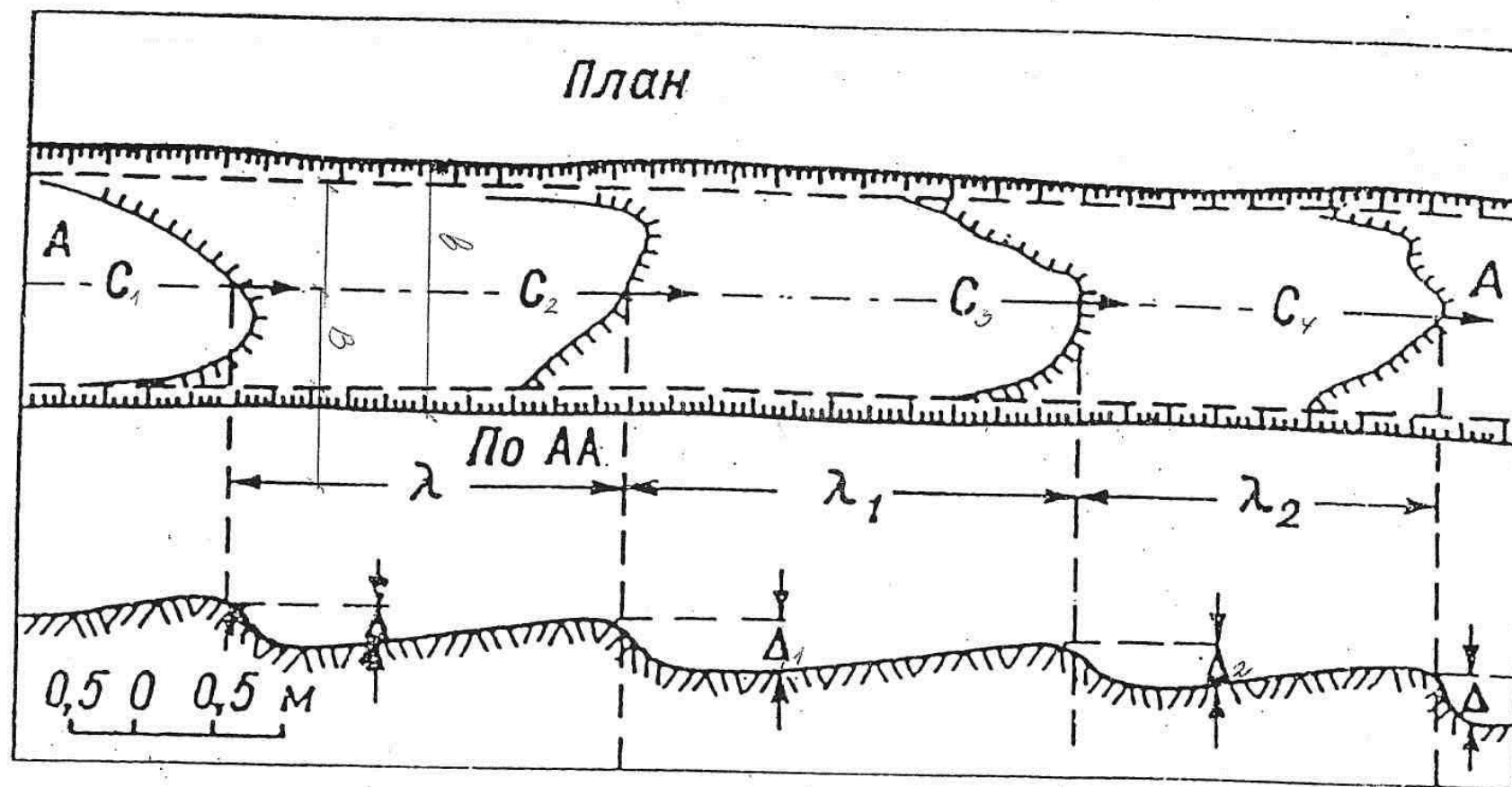
Вихідні дані до розрахунку деформації дна річки

Варіант	Глибина, м	Середня швидкість м/с	Ухил водної поверхні, ‰	Донна каламутність, м ³ /м ³	ω, м/с
1	3,05	0,45	0,0000185	0,000035	0,0021
2	3,10	0,47	0,0000190	0,000038	0,0022
3	3,15	0,50	0,0000195	0,000040	0,0024
4	3,20	0,52	0,0000200	0,000045	0,025
5	3,25	0,55	0,0000205	0,000050	0,026
6	3,30	0,57	0,0000210	0,000055	0,028
7	3,36	0,60	0,0000215	0,000058	0,027
8	3,40	0,62	0,0000220	0,000060	0,026
9	3,45	0,65	0,0000225	0,000063	0,029
10	3,60	0,59	0,0000210	0,000056	0,028
11	3,65	0,49	0,0000200	0,000040	0,025
12	3,75	0,51	0,0000205	0,000041	0,023
13	3,80	0,48	0,0000195	0,000048	0,022
14	3,85	0,57	0,0000212	0,000055	0,025
15	3,90	0,61	0,0000216	0,000057	0,027
16	3,95	0,59	0,0000211	0,000056	0,025
17	4,00	0,56	0,0000198	0,000054	0,026
18	4,05	0,52	0,0000191	0,000045	0,027
19	4,10	0,49	0,0000181	0,000042	0,025
20	4,15	0,51	0,0000184	0,000041	0,027
21	4,20	0,55	0,0000202	0,000050	0,028
22	4,25	0,57	0,0000205	0,000055	0,026
23	4,30	0,48	0,0000186	0,000038	0,022
24	4,35	0,40	0,0000182	0,000030	0,019
25	4,40	0,43	0,0000187	0,000031	0,020
26	4,45	0,45	0,0000185	0,000035	0,021
27	4,50	0,54	0,0000192	0,000037	0,024
28	4,55	0,58	0,0000212	0,000056	0,026
29	4,60	0,63	0,0000216	0,000065	0,028
30	4,65	0,65	0,0000225	0,000070	0,031

Таблиця функції $\Phi=f(\varepsilon)$

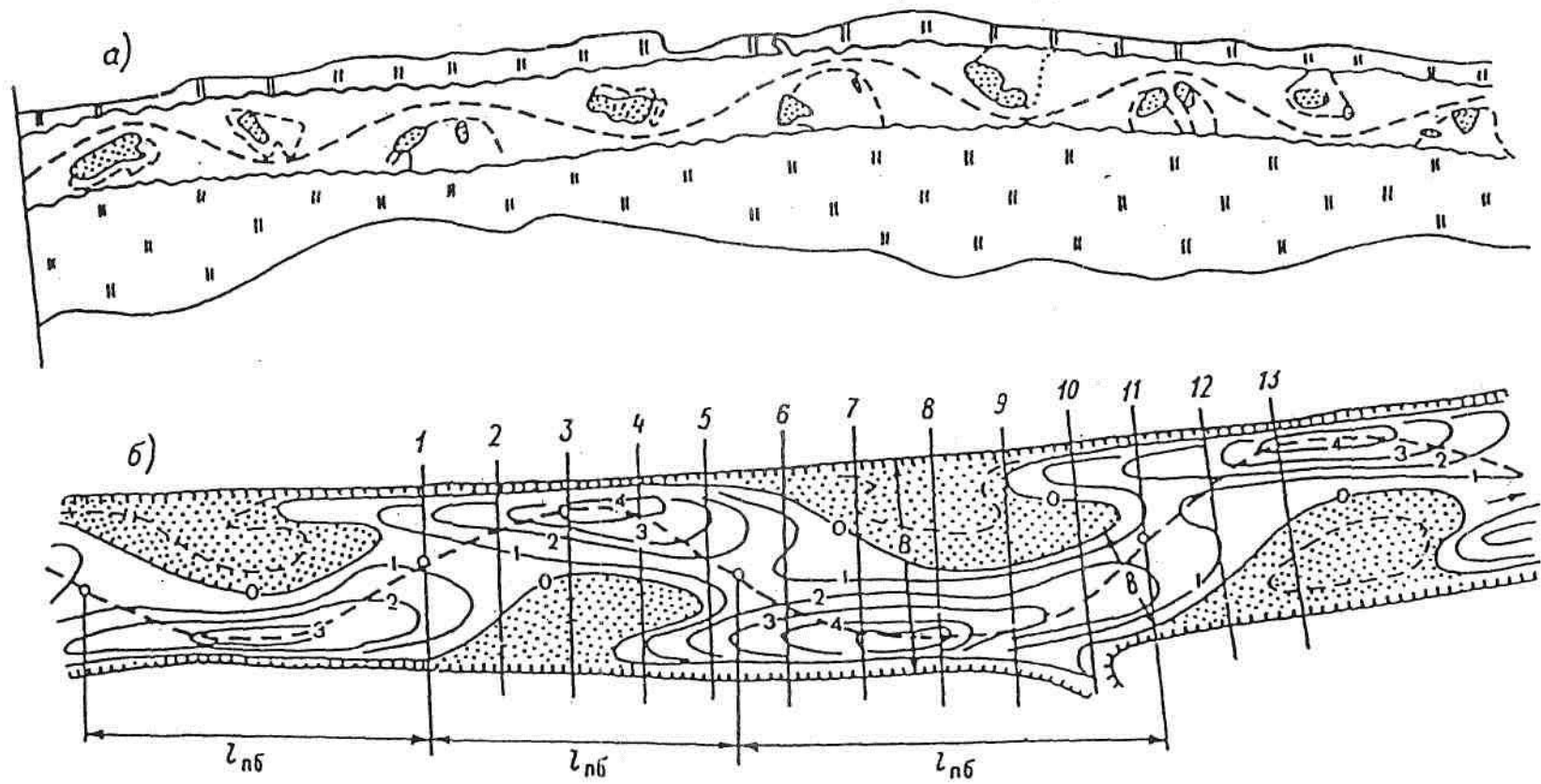
ε	Φ	ε	Φ	ε	Φ
0,0001	1,000	0,15	0,730	1,12	0,106
0,0005	1,000	0,20	0,658	1,40	0,062
0,002	0,996	0,27	0,580	1,65	0,035
0,02	0,960	0,34	0,510	0,95	0,017
0,05	0,902	0,40	0,456	2,40	0,006
0,08	0,848	0,65	0,274	0,90	0,008
0,10	0,812	1,00	0,144	3,00	0,000

Вихідні дані для розрахунку вимірників типів руслових процесів



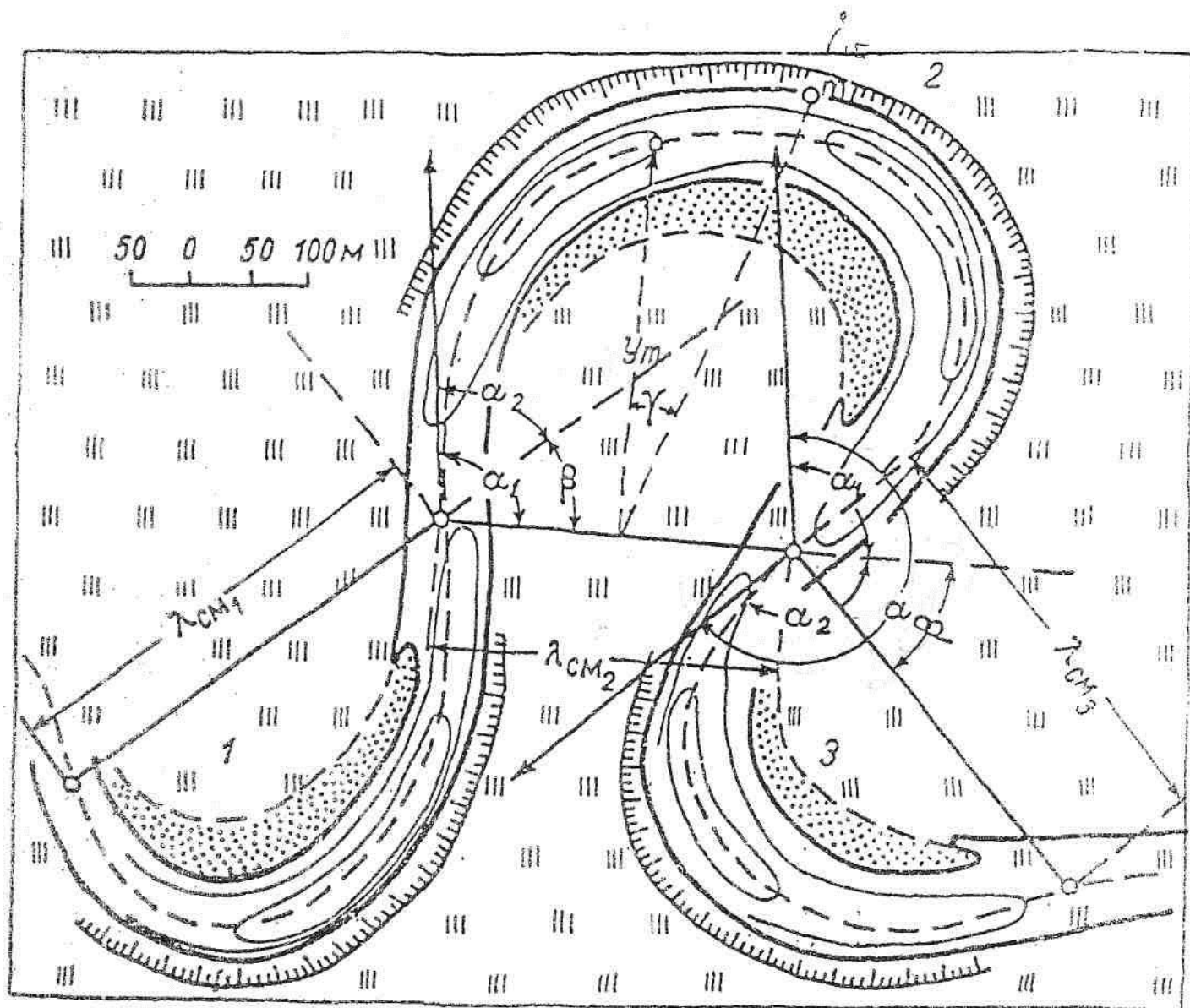
СТРІЧКОВО-ГРЯДОВИЙ ТИП РУСЛОВОГО ПРОЦЕСУ

λ - крок; Δ - висота; C - швидкість переміщення.



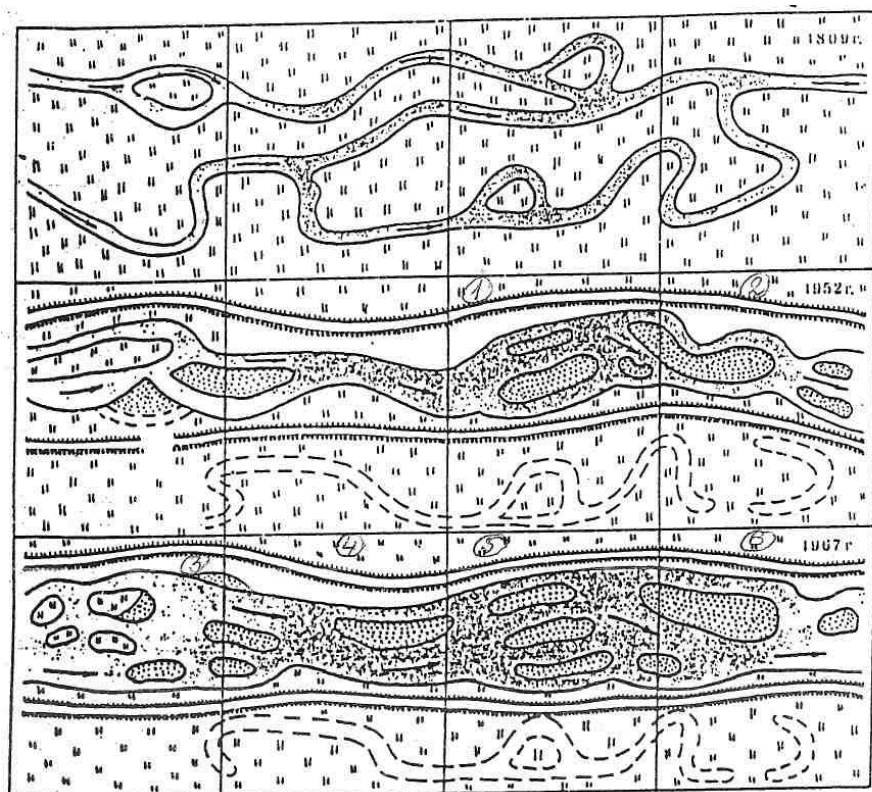
ПОБІЧНЕВИЙ /БОКОВИКОВИЙ/ ТИП РУСЛОВОГО ПРОЦЕСУ

а - загальний вигляд ділянки річки з побочними; б - будова русла при наявності побочнів



ВІЛЬНЕ МЕАНДРУВАННЯ

λ - крок звивини; α_1 - кут входження; α_2 - кут виходу; α - кут розвороту; β - кут з'єднання; I_m - висота звивини;



ЗМІНИ РУСЛА р. ТИСИ

Варіант	Тип руслового процесу та масштаб зйомки			
	стрічково- грядовий	побічний	вільне меандрування	руслова багаторукавність
1	1: 2 000	1: 2 500	1: 5 000	1: 10 000
2	1: 25 000	1: 5 000	1: 10 000	1: 25 000
3	1: 5 000	1: 10 000	1: 25 000	1: 50 000
4	1: 10 000	1: 2 000	1: 50 000	1: 2 000
5	1: 25 000	1: 50 000	1: 2 000	1: 2 500
6	1: 50 000	1: 25 000	1: 2 500	1: 5 000
7	1: 1 000	1: 2 000	1: 25 000	1: 2 500
8	1: 2 000	1: 1 000	1: 50 000	1: 10 000
9	1: 2 500	1: 5 000	1: 10 000	1: 25 000
10	1: 5 000	1: 2 000	1: 25 000	1: 50 000
11	1: 10 000	1: 25 000	1: 50 000	1: 1 000
12	1: 25 000	1: 2 000	1: 5 000	1: 5 000
13	1: 50 000	1: 500	1: 1 000	1: 2 000
14	1: 500	1: 1 000	1: 2 000	1: 2 500
15	1: 1 000	1: 500	1: 20500	1: 5 000
16	1: 2 500	1: 500	1: 5 000	1: 1 000
17	1: 5 000	1: 1 000	1: 500	1: 10 000
18	1: 10 000	1: 2 500	1: 1 000	1: 2 000
19	1: 25 000	1: 2 500	1: 1 000	1: 50 000
20	1: 50 000	1: 10 000	1: 2 000	1: 1 000
21	1: 500	1: 5 000	1: 2 500	1: 10 000
22	1: 500	1: 10 000	1: 5 000	1: 25 000
23	1: 1 000	1: 25 000	1: 2 000	1: 500
24	1: 2 000	1: 50 000	1: 5 000	1: 25 000
25	1: 500	1: 50 000	1: 2 500	1: 2 000
26	1: 1 000	1: 2 500	1: 1 000	1: 5 000
27	1: 2 000	1: 500	1: 25 000	1: 2 500
28	1: 2 500	1: 1 000	1: 50 000	1: 500
29	1: 5 000	1: 10 000	1: 50 000	1: 1 000
30	1: 10 000	1: 5 000	1: 25 000	1: 500

Додаток Є

Вихідні дані для розрахунку руслоформуючих витрат води

Варіант	Назва річки, гідрологічного поста	Середній діаметр зважених наносів, d , мм	Ширина меженного русла, B , м	Середня витрата води, $Q_{сер}$, м ³ /с	Ймовірність перевищення середньої витрати, P , %
1	Прип'ять – с. Річиця	2,5	25	8,20	10,77
2	Прип'ять – с. Любязь	1,85	30	37,5	8,22
3	Вижівка – с. Стара Вижівка	9,0	31	12,0	7,66
4	Тур'я – с. Ягідне	3,4	45	3,75	10,94
5	Тур'я – м. Ковель	8,7	27	12,0	11,58
6	Стохід – с. Малинівка (с. Богущівка)	4,3	18	4,5	14,77
7	Вирка – с. Сварині	7,4	52	2,25	14,90
8	Случ – с. Громада (х. Данцев)	5,5	61	65,2	8,00
9	Ірша – с. Українка	1,5	37	87,5	8,52
10	Уж – м. Коростень	2,4	23	18,0	10,13

Додаток Ж

Вихідні дані до розрахунку ЕДВ води за гідравлічними критеріями

Варіант		Екологічно допустимі мінімальні витрати (ЕДМВ) води у річках	
		літня межень	зимова межень
1	Прип'ять – с. Річиця	0,35	0,58
2	Прип'ять – с. Любязь	0,43	0,70
3	Вижівка – с. Стара Вижівка	0,03	0,24

4	Тур'я – с. Ягідне	0,04	0,16
5	Тур'я – м. Ковель	0,15	0,32
6	Стохід – с. Малинівка (с. Богушівка)	0,07	0,09
7	Вирка – с. Сварині	0,02	0,10
8	Случ – с. Громада (х. Данцев)	1,35	2,16
9	Тня – с. Броники	0,03	0,18
10	Смолка – с. Сусли	0,09	0,17

Додаток 3

Вихідні дані до розрахунку стійкості річкових русел

Варіант	Середній діаметр руслоформуючих наносів, d , мм	Похил, I , %	Ширина меженного русла, B , м	Глибина русла, H , м	Середня швидкість течії, v , м/с	Середня, максимальна витрата води, Q , м ³ /с
1	2,5	0,000028	25	5,44	0,29	127,0
2	1,85	0,000026	30	5,27	0,45	68,2
3	9,0	0,000025	31	5,70	0,39	52,1
4	3,4	0,000013	45	5,19	0,42	35,2
5	8,7	0,000013	27	5,35	0,35	47,8
6	4,3	0,000015	18	4,37	0,40	21,0
7	7,4	0,000026	52	4,65	0,56	59,6
8	5,5	0,000027	61	4,90	0,59	110,0
9	1,5	0,000030	37	5,20	0,72	150,0
10	2,4	0,000008	23	8,10	0,42	18,0

Питання гарантованого рівня знань

1. Поняття руслознавства.
2. Предмет, методи і задачі курсу руслознавство.
3. Структура річкового русла (основні елементи річкових систем).
4. Структура річкового басейну.
5. Енергія і робота річкового потоку.
6. Формування річкових наносів.
7. Механізм переміщення донних наносів.
8. Деформації річкового русла.
9. Основні засади гідроморфологічної теорії руслового процесу.
10. Руслоформуючі витрати води.

11. Природні та антропогенні деформації.
12. Заплави річок.
13. Гідроекологічні аспекти руслознавства.
14. Поняття про екологічні витрати води.
15. Теорії хвиль.
16. Гідрографічні характеристики річкових водозборів.
17. Кадастрова потужність потоку.
18. Стійкість річкових русел.

Рекомендована та література Базова

1. Ободовський О. Г. Руслові процеси. Вид. КДУ, Київ, 1998. 134 с.
2. Ободовський О. Г. Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів (на прикладі річок України). К. : Ніка-Центр, 2001. 274 с.
3. Ободовський О. Г. Регіональний гідролого-екологічний аналіз руслових процесів : автореф. на здобуття наук. ступеня доктора геогр. наук. К., 2002. 31 с.
4. Чалов Р. С. Первое украинское пособие по русловым процессам. *Геоморфология*. 2000. № 7.
5. Загальна гідрологія : підручник / Левківський С. С., Хільчевський В. К., Ободовський О. Г. та ін. За ред. Лисогора С. М. К. : Фітосоціоцентр. 2000. 264 с.
6. Загальна гідрологія : підручник / Хільчевський В. К., Ободовський О. Г., Гребінь В. В. та ін. За ред. Хільчевського В. К., Ободовського О. Г. К. : ВПЦ «Київський університет». 2008. 399 с.
7. Барышников Н. Б., Попов И. В. Динамика русловых потоков и русловые процессы. Гидрометеиздат, Л., 1998.
8. Кондратьев Н. Е., Попов И. Е., Снисченко Б. Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л., 1982.
9. Макавеев Н. И., Чалов Р. С. Русловые процессы. М., 1986.
10. Караушев А. В. Теория и методы расчета речных наносов. Л.: ГИМИЗ, 1977. 270 с.

Допоміжна

1. Малі річки України : довідник / За ред. Яцик А. В., Бишовець Л. Б., Богатов Є. О. та ін. К. : Урожай, 1991. 296 с.
2. Справочник по водным ресурсам / Под ред. Стрельца Б. И. К.: Урожай, 1987. 304 с.

3. Барышников Н. Б. Морфология, гидрология и гидравлика пойм. Л., 1984.

4. Попов И. В. Деформации речных русел и гидротехническое строительство. Л., 1965.

5. Чалов Р. С. Географические исследования русловых процессов / Под ред. Н. И. Макавеева. М., 1979.

6. Водний кодекс України (за станом на 2019 р.).

7. Яцик А. В. Водогосподарська екологія: у 4-х томах, 7 кн. К. : Генеза, 2004. Т. 2, кн. 3-4. 384 с.

8. Проектирование мероприятий по улучшению экологического состояния малых рек Украины Т-343: Этап 1 «Рекомендации по проектированию мероприятий по улучшению экологического состояния малых рек Украины» [Текст]: руководство. Киев, Укрводпроект, 1992. 36 с.

9. Экологическая оценка воздействия гидротехнического строительства на водные объекты / В. Д. Романенко, О. П. Оксикю, В. Н. Жукинський, Ф. В. Стольберг, В. И. Лаврик; отв. ред. Ю. П. Зайцев; АН УССР Институт гидробиологии АН УССР. К. : Наукова думка, 1990. 256 с.

10. Ресурсы поверхностных вод СССР: Украина и Молдавия / под ред. М. С. Каганера. Л. : Гидрометеиздат, Т. 6, вып. 2, 1971. 654 с.

11. Маринич О. М. Фізична географія України : підручник / 3-тє вид., стер. / О. М. Маринич, П. Г. Шищенко. К. : Т-во “Знання”, КОО, 2006. 511 с.

12. Мониторинг, использование и управление водными ресурсами бассейна р. Припять / Под общ. Ред. Калинина М. Ю. и Ободовского А. Г. Минск, БЕЛСЭНС, 2003. 269 с.

13. Будз О. П. Гідрологія: інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/1842/>

14. В. Г. Клименко. Загальна гідрологія : навчальний посібник. Цифровий репозиторій Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. URL: http://eprints.kname.edu.ua/http://ekhnuir.univer.kharkov.ua/bitstream/123456789/3786/2/Zagalna_gidro.pdf

15. Загальна гідрологія : підручник / Левківський С. С., Хільчевський В. К., Ободовський О. Г. та ін. / Цифровий репозиторій Уманський державного педагогічного університету

імені Павла Тичини. URL:
http://library.udpu.org.ua/library_files/ece/6468_01.pdf

16. Холоденко В. С. Сучасні методики встановлення екологічно допустимих мінімальних витрат води на ріках Прип'ятського Полісся України / Географія та туризм : наук. збірник / Відп. редактор Я.Б. Олійник. К. : Альтерпрес, 2012. Вип.21. с. 241-249 / Цифровий репозиторій Київського національного університету імені Тараса Шевченка. URL: file:///D:/Downloads/gt_2012_21_36.pdf